

**UNIVERSIDAD CENTRAL  
MARTA ABREU DE LAS VILLAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**



**TESIS DE MAESTRÍA EN TELEMÁTICA**

**VALORACIÓN Y PERSPECTIVA DEL SISTEMA GSM EN LA RED CELULAR  
COLOMBIANA**

**AUTOR  
FABIAN BLANCO GARRIDO**

**TUTOR  
Dr. PEDRO J. ARCO RIOS**

**SANTA CLARA, CUBA 2007**

## **RESUMEN**

El presente trabajo describe los protocolos de señalización empleados en el sistema GSM, los cuales constituyen el soporte inteligente que garantiza el cumplimiento de todas sus funciones. Para esto hacemos uso de cuatro capítulos que se describen a continuación.

En el capítulo I se brinda una breve introducción al sistema GSM. Se muestra de forma general la arquitectura del sistema, describiendo las funciones más representativas de cada uno de sus subsistemas, así como de los componentes de red e interfaces que intervienen en el mismo, dando una panorámica de los protocolos de señalización empleados.

El capítulo II analiza de forma detallada la interfaz móvil-red, haciendo énfasis en los protocolos de señalización empleados, canales físicos y lógicos, procedimientos de gestión de recursos de radio, gestión de movilidad, y gestión de la comunicación.

En el capítulo III se describe el funcionamiento de la red, mostrando las funciones de señalización de los niveles más altos a través de los procedimientos MAP que permiten la realización de las funciones de identificación de usuario, actualización de posición, traspaso y otros procedimientos.

El capítulo IV aborda la evolución de los sistemas de comunicaciones móviles, exponiendo las características fundamentales de los sistemas móviles actuales, la tendencia evolutiva y las tecnologías empleadas. También se realiza una valoración de la red celular colombiana, presentando posibles variantes a tener en cuenta en el momento de acometer un proyecto de diseño e implementación de un sistema de telefonía celular utilizando tecnología GSM.

## SUMMARY

The present work describes the used protocols of signaling in system GSM, which constitute the intelligent support that guarantees the fulfillment of all its functions. For this we make use of four chapters that are described next.

In chapter I a brief introduction offers system GSM. Sample of general form the architecture of the system, describing itself the most representative functions of each one of its subsystems, as well as of the components of network and interfaces that take part in he himself, giving a panoramic one of the used protocols of signaling.

I capitulate II analyzes of detailed form the interface movable-network, doing emphasis in the used protocols of signaling, physical and logical channels, procedures of management of radio resources, management of mobility, and management of the communication.

In I capitulate III describes to the operation of the network, showing the functions of signaling of the highest levels through the procedures MAP that allow the accomplishment of the functions of user identification, update of position, crossing and other procedures.

I capitulate IV approaches the evolution of the systems of movable communications, exposing the fundamental characteristics of the present movable systems, the evolutionary tendency and the used technologies. Also a valuation of the Colombian cellular network is made, resenting/displaying possible variants to consider at the moment for undertaking a project of design and implementation of a system of cellular telephony using technology GSM.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>I</b>
<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>VII</b>
<b>CAPITULO 1 SISTEMA GSM. ARQUITECTURA DE RED</b>	<b>9</b>
1.1 Introducción al sistema GSM	9
1.2 Arquitectura del sistema GSM	13
1.3 Panorámica de señalización	24
<b>CAPITULO 2 INTERFAZ MÓVIL-RED</b>	<b>27</b>
2.1 Arquitectura de señalización móvil-red	27
2.2 Canales de señalización	28
2.3 Correspondencia canales lógicos-canales físicos	32
2.4 Protocolo de nivel de enlace (LAPDm)	35
2.5 Protocolos de nivel de red	38
2.6 Procedimientos de gestión de recursos de radio	39
2.7 Procedimientos de gestión de movilidad y gestión de comunicación	57
<b>CAPITULO 3 FUNCIONAMIENTO DE LA RED</b>	<b>67</b>
3.1 Señalización dentro de la red	67
3.2 Actualización de posición	70
3.3 Establecimiento de llamada con consideraciones de encaminamiento	75
3.4 Traspaso de llamadas entre MSC	80
3.5 Otros procedimientos	84

<b>CAPITULO 4 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES</b>	<b>92</b>
<b>4.1 Sistemas móviles actuales</b>	<b>92</b>
<b>4.2 La tendencia evolutiva</b>	<b>97</b>
<b>4.3 Integración de las tecnologías</b>	<b>100</b>
<b>4.4 Tecnologías</b>	<b>102</b>
<b>4.5 Valoración y perspectiva de la red celular colombiana</b>	<b>105</b>
<b>4.6 Resumen</b>	<b>113</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>116</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>117</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>118</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b>	<b>120</b>

## TABLA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.1 Arquitectura de GSM.</b>	<b>15</b>
<b>Figura 1.2 Canales físicos en la interfaz de radio.</b>	<b>17</b>
<b>Figura 1.3 Enlaces BTS-BSC-MSC</b>	<b>22</b>
<b>Figura 1.4 Interfaces MAP</b>	<b>23</b>
<b>Figura 2.1 Arquitectura de la señalización Móvil-Red</b>	<b>27</b>
<b>Figura 2.2 Canal físico para Tráfico.</b>	<b>33</b>
<b>Figura 2.3 Señalización móvil red – nivel 3</b>	<b>39</b>
<b>Figura 2.4 Petición y uso del canal de señalización dedicado</b>	<b>42</b>
<b>Figura 2.5 Establecimiento de canales de señalización – MS llamante</b>	<b>45</b>
<b>Figura 2.6 Establecimiento de canales de señalización – MS llamante (cont.)</b>	<b>48</b>
<b>Figura 2.7 Establecimiento de canales de señalización – MS llamado</b>	<b>48</b>
<b>Figura 2.8 Liberación de canales</b>	<b>49</b>
<b>Figura 2.9 Tipos de traspaso</b>	<b>51</b>
<b>Figura 2.10 Inicio y fin de traspaso intra BSC</b>	<b>52</b>
<b>Figura 2.11 Inicio y fin de traspaso intra MSC</b>	<b>54</b>
<b>Figura 2.12 Autenticación y cifrado</b>	<b>59</b>
<b>Figura 2.13 Establecimiento y liberación de llamada (nivel 3-CC)</b>	<b>61</b>
<b>Figura 2.14 Retención de llamada</b>	<b>62</b>
<b>Figura 2.15 Servicio de mensajes cortos</b>	<b>65</b>
<b>Figura 3.1 Actualización de posición en el mismo VLR</b>	<b>71</b>
<b>Figura 3.2 Actualización de posición con cambio de VLR</b>	<b>72</b>
<b>Figura 3.3 Actualización de posición usando el TMSI</b>	<b>74</b>
<b>Figura 3.4 Encaminamiento hacia un móvil</b>	<b>77</b>
<b>Figura 3.5 Traspaso simple</b>	<b>81</b>
<b>Figura 3.6 Traspaso subsiguiente</b>	<b>83</b>

<b>Figura 3.7</b>	<b>Gestión de la información de usuario entre HLR y VLR</b>	<b>85</b>
<b>Figura 3.8</b>	<b>Gestión de información de usuario</b>	<b>85</b>
<b>Figura 3.9</b>	<b>Uso de MAP para SMS (depósito)</b>	<b>88</b>
<b>Figura 3.10</b>	<b>Uso de MAP para SMS (entrega)</b>	<b>88</b>
<b>Figura 3.11</b>	<b>Uso de MAP para SMS (Fallo en la entrega)</b>	<b>89</b>
<b>Figura 3.12</b>	<b>Uso de MAP para SMS (Aviso para entrega posterior)</b>	<b>91</b>
<b>Figura 4.1</b>	<b>Zonas del país para el servicio móvil</b>	<b>106</b>
<b>Figura 4.2</b>	<b>Áreas de cobertura</b>	<b>111</b>
<b>Figura 4.2</b>	<b>Propuesta de arquitectura de red #1</b>	<b>112</b>
<b>Figura 4.3</b>	<b>Propuesta de arquitectura de red #2</b>	<b>113</b>

## INTRODUCCIÓN.

La utilización de la radio para la comunicación móvil es una idea que surge con los primeros experimentos de Marconi, realizados en 1901, en los que se instalaron los primeros sistemas de “radio móvil” sobre vehículos con apariencia de tranvías. El primer servicio de telefonía móvil fue utilizado por la policía de Detroit en los años 20. Desde entonces han aparecido y se han desarrollado muchos sistemas.

En este proceso, se han ido produciendo muchos avances, tanto tecnológicos como teóricos que fueron sentando las bases de la situación actual. Entre los primeros, cabe destacar el desarrollo del transistor, inventado a finales de los años 40 por los laboratorios Bell y el desarrollo de los circuitos integrados, que permitió la actual revolución de la microelectrónica.

La invención de la modulación de frecuencia supuso un paso importante, al permitir acercarse al objetivo de un sistema mucho más resistente a las interferencias, permitiendo por primera vez el intercambio de calidad por ancho de banda. La modulación digital y los códigos de protección contra errores son otros pasos en la misma dirección. La aparición de las técnicas de división por código fue el último paso en este sentido.

La idea de sistemas de radio celulares apareció en los laboratorios Bell (en E.U) a principio de los 70', pero fue en los 80' que se introdujo el sistema móvil celular para uso comercial. Durante la década de los 80' los sistemas telefónicos celulares analógicos experimentaron un crecimiento muy rápido en Europa, pero inicialmente cada país desarrolló su propio sistema, por lo que en 1982 la CEPT (Conference of European Posts and Telecommunications) formó el GSM (Groupe Spécial Mobile) con el objetivo de desarrollar un sistema de radio celular móvil pan-Europeo (El acrónimo GSM se convirtió

luego en “Global System for Mobile communications”). El sistema GSM fue desarrollado empleando la tecnología digital desde su comienzo.

En 1990 se publicaron las especificaciones de la fase I de GSM, pero el uso comercial comenzó a mediados de 1991.

A finales de los 90' Internet se hacía cada vez más dominante y la industria inalámbrica vio la comunicación de datos móviles como una oportunidad de crecimiento, así que se dio a la tarea de definir nuevos sistemas inalámbricos: los sistemas 3G basados en la transmisión de paquetes de datos. De manera que surgieron tres nuevos estándares; CDMA2000 (evolución de IS-95), EDGE (evolución de GSM para el espectro existente) y W-CDMA (evolución de GSM para un nuevo espectro empleando una portadora W-CDMA de 5 MHz) como aparece en [1, 2].

La evolución de GSM a 3G se basa en añadir gradualmente más funcionalidad, posibilidades y valor a la red GSM existente; esta comienza con una mejora de la red GSM a 2.5G introduciendo la tecnología GPRS.

## **CAPITULO 1 SISTEMA GSM. ARQUITECTURA DE RED**

### **1.1 Introducción al sistema GSM**

Las siglas GSM tienen su origen del francés 'Groupe Spéciale Mobile', un grupo de estudio creado en 1982 en el seno de la Conferencia Europea de Administraciones Postales y de Telecomunicaciones (CEPT). Su objetivo era la definición de un sistema público de comunicaciones móviles terrestres de ámbito paneuropeo.

En 1989, las tareas del Groupe Spéciale Mobile se transfirieron al Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI), organismo que en 1990 publicó la primera versión (fase 1) de especificaciones del 'Global System for Mobile Communications'. Éste es el término al que actualmente se asocia el acrónimo GSM.

Las características básicas del sistema GSM son las siguientes:

- Es un sistema celular de comunicaciones vía radio. La cobertura geográfica mediante células posibilita un uso más eficiente del espectro por la reutilización de frecuencias en células separadas una distancia suficiente.
- Es el primer sistema móvil digital. Los sistemas analógicos son muy sensibles a interferencias radioeléctricas, desvanecimientos y recepciones multitrayecto. El empleo de técnicas de detección y corrección de errores en los sistemas digitales permite recuperar con mayor calidad la señal original ante tales adversidades.
- Ofrece garantías de seguridad y privacidad. El sistema GSM incluye procedimientos de autenticación del usuario y de cifrado de la transmisión de voz (y datos) para dar privacidad en la conversación. Los sistemas analógicos, por el contrario, son más susceptibles a escuchas.
- Proporciona una mayor gama de servicios que sistemas anteriores. Si bien el principal servicio es el telefónico, el sistema GSM incorpora facilidades específicas para

transmisión de datos y facsímil. A ello ha de añadirse la oferta de una gran variedad de servicios suplementarios, similares a los de la RDSI.

Una de las principales virtudes que se atribuyen al sistema GSM es el elevado grado de concreción alcanzado en las definiciones y especificaciones previas a su implantación, evitándose así en gran medida los problemas que se dieron con la RDSI.

Al igual que en la RDSI, los servicios ofrecidos en GSM se clasifican en Teleservicios, Servicios Portadores y Servicios Suplementarios. Estos servicios se han ido introduciendo y ampliando por fases: fase 1, fase 2 y fase 2+.

### **Teleservicios:**

- **Telefonía:** Servicio modo circuito similar al de la red telefónica conmutada (RTC) o la RDSI, que permite la conversación con abonados GSM o de otras redes telefónicas. La voz se digitaliza y comprime de modo que el flujo de información que se transmite sobre la interfaz de radio es de 13 Kbits/s (fase 1, full rate) ó 6,5 Kbit/s (fase 2, half-rate).
- **Llamadas de Emergencia:** Este servicio permite efectuar llamadas de emergencia mediante la marcación de un número de tres cifras (ej. 112). Se trata de un servicio prioritario, obligatorio en toda red GSM, que agiliza el tratamiento de estas llamadas hacia el centro de atención adecuado (policía, bomberos, etc.).
- **Servicio de Mensajes Cortos (SMS, Short Message Service):** Servicio modo paquete que permite el intercambio de mensajes alfanuméricos de hasta 160 caracteres (codificados con 7 bits por carácter) entre terminales GSM o desde la red hacia los terminales.
- **Servicio de Fax:** Permite el envío y recepción de documentos facsímil grupo 3. Si bien existen teléfonos GSM que incluyen facilidades de fax y adaptadores GSM para terminales facsímil G3, en el caso más habitual se emplea un PC con una tarjeta PCMCIA (módem-fax) a la que se conecta un teléfono GSM.

Servicios Portadores: GSM ofrece servicios portadores para transmisión de datos hasta 9.600 bps.

Servicios Suplementarios: GSM soporta servicios suplementarios similares a los de la RDSI [1, 2]. Por ejemplo:

- Desvíos de llamadas: Las llamadas pueden redirigirse a otro número o a un buzón de voz si el abonado está ocupado, no contesta o es inalcanzable (terminal desconectado o sin cobertura).
- Identificación de abonado llamante y de abonado conectado: el visor del móvil muestra respectivamente el número del abonado que llama o el número donde finaliza la llamada
- Llamada en espera: Durante una conversación se puede dar paso a una nueva llamada inhibiendo la actual (puede retenerse para retomarla posteriormente).
- Prohibición de llamadas: Puede aplicarse a llamadas entrantes o salientes (ej. llamadas internacionales o a servicios de valor añadido).

Los usuarios GSM pueden hablar con otros usuarios GSM, pudiendo éstos pertenecer a su misma red o a la de otro operador. Lógicamente, también son posibles las llamadas entre abonados GSM y abonados RTC o RDSI.

Los acuerdos de itinerancia (roaming) entre operadores GSM permiten que un abonado GSM pueda efectuar o recibir llamadas accediendo a la red de otro operador cuando se encuentra fuera de la zona de cobertura del suyo (normalmente, en otro país).

Como se ha dicho, la voz se digitaliza y comprime para su envío por la interfaz de radio a 13 Kbits/s (fase 1). Esta velocidad, denominada full-rate, puede reducirse a la mitad (half-rate) en redes GSM basadas en las especificaciones de la fase 2. En la fase 2 existe también la modalidad enhanced full-rate que proporciona mejor calidad de voz sobre un flujo de 13 Kbits/s.

En el caso normal (full rate) la voz se divide en bloques de 20 ms, cada uno de 260 bits de información ( $260/0,02 = 13$  Kbit/s). Cada bloque de 260 bits se protege contra errores añadiéndole 196 bits de redundancia, dando un total de 456 bits por bloque de voz. Se utiliza detección de silencios.

En algunos casos, entre las estaciones base y los conmutadores GSM pueden enviarse cuatro conversaciones sobre un mismo canal de 64 Kbit/s, con el fin de ahorrar capacidad en las líneas que interconectan estos elementos (se verá en detalle más adelante). Esta multiplexión puede aplicarse también a llamadas de datos.

Entre los conmutadores de la red GSM, y entre éstos y la red fija, la tasa de información se adapta a 64 Kbit/s para su conmutación y transmisión sobre circuitos convencionales.

Los códecs de voz utilizados en GSM proporcionan una calidad adecuada para el servicio telefónico. No son aptos sin embargo, para la transmisión de tonos generados por un módem o un fax. La transmisión de datos en GSM requiere el empleo de los servicios portadores que específicamente se han definido para tal fin. Estos servicios se apoyan directamente en la naturaleza digital de la interfaz de radio, proporcionando velocidades de hasta 9600 bps.

Normalmente las transmisiones de datos en GSM se basan en el empleo de un PC conectado al terminal GSM mediante una tarjeta de comunicación (una PCMCIA en caso de ordenadores portátiles). En caso de que el interlocutor se encuentre en la RTC, es necesario el empleo de unidades de interfuncionamiento (IWF, InterWorking Function) a fin de convertir los datos de formato digital a analógico y viceversa. Desde el punto de vista de la RTC, la IWF se comporta como un módem que se comunica con el módem del usuario de la RTC. Si el interlocutor se encuentra en la RDSI la conversión digital-analógico no es necesaria y solo es necesaria la adaptación de velocidad a 64 Kbps.

Hacia el lado GSM, la IWF dialoga con la TAF (Terminal Adaptation Function), que puede estar integrada en el terminal GSM o aparte. Entre TAF e IWF los datos pueden enviarse en dos modos:

- Transparente (modo T). Se usan códigos de control de errores, pero sin retransmisiones. La probabilidad de error de bit es bastante alta (0.3% a 9600 bps).
- No transparente (modo NT). Se añade un protocolo de retransmisiones entre TAF e IWF (RLP, Radio Link Protocol). Esto soluciona los errores pero a costa de retardo variable.

El caso del fax es similar, la IWF recibe la información digital a través de la red GSM y la convierte a analógica para su envío a un fax convencional a través de la RTC [4]. Para faxes dirigidos a un usuario GSM se hace la conversión contraria.

En general, en cada llamada se debe determinar su tipo (voz, datos, fax) para utilizar la IWF adecuada. Cuando esta distinción no es posible vía señalización, el usuario GSM debe tener un número diferente para cada servicio. Como ejemplo típico, un usuario GSM puede tener un número para recibir llamadas de voz y otro para recibir faxes.

La fase 2+ de GSM define servicios de datos mejorados incluyendo: incremento de velocidad de 9.6 Kbps a 14.4 Kbps sobre un canal, la combinación de varios canales de radio para alcanzar velocidades mayores (HSCSD, High-Speed Circuit Switched Data), el envío de datos en modo paquete sobre canales de señalización (PDS, Packet Data on signalling channels) y datos en modo paquete sobre uno o varios canales de usuarios (GPRS, General Packet Radio Service).

## **1.2 Arquitectura del sistema GSM**

La arquitectura de la red GSM consta de los siguientes elementos (descritos con más detalle en las páginas siguientes):

- Estaciones móviles: Abonado móvil.
- Estaciones base: Son equipos que contienen los transceptores de radio y las antenas. Normalmente, las estaciones base disponen de tres antenas. La central se emplea para transmisión y las otras dos para recepción por diversidad. Hoy en día, es posible encontrar estaciones base con sólo dos antenas, una transmisora y otra receptora. Incluso las más modernas se construyen con una sola antena. En estas últimas, la recepción por diversidad se consigue por polarizaciones cruzadas.
- Controladores de las estaciones base: Actúan como concentradores remotos de tráfico para varias estaciones base. Son responsables también de la asignación dinámica de canales de radio para la comunicación entre estaciones base y móviles. Las estaciones controladoras pueden conectarse a las estaciones base por cable o por radioenlace
- Conmutadores de servicios móviles: Son centrales de conmutación similares a las utilizadas en las redes fijas, con software específico para el entorno de comunicaciones móviles y, en otros casos, para actuar como pasarela a la red fija.
- Registros de información y localización: Son dispositivos de almacenamiento utilizados para diversos propósitos dentro de las redes GSM. Almacenan información sobre:
  - Identidad de los abonados (ej. su número de teléfono) y los terminales (ej. para impedir el empleo de equipos robados).
  - Servicios a los que está suscrito un abonado.
  - Localización actual de una estación móvil dentro de la red (ej. el conmutador del que depende en un momento dado).
  - Parámetros de seguridad como claves personales para la autenticación de móviles y el cifrado de las comunicaciones.

La figura 1.1 muestra la arquitectura de un sistema GSM.

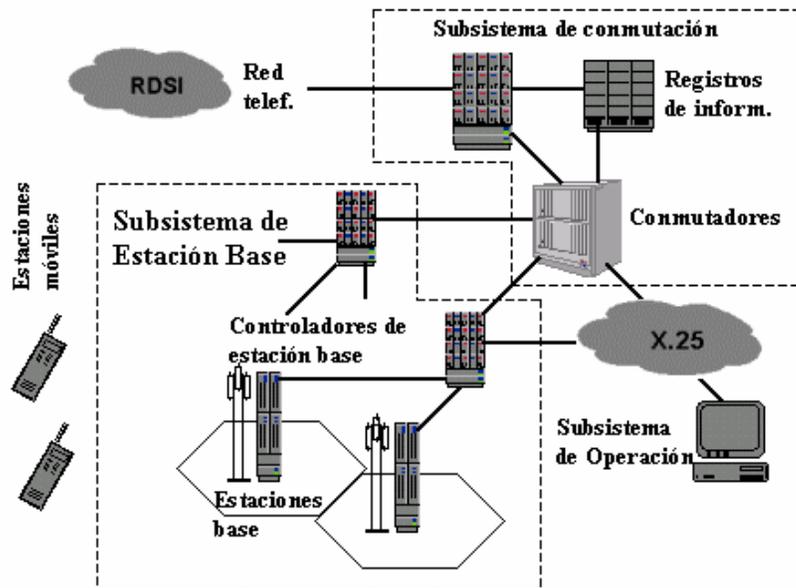


Figura 1.1 Arquitectura de GSM.

### La estación móvil

En GSM, se entiende como estación móvil (MS, Mobile Station) el conjunto formado por el terminal de usuario y una tarjeta SIM (Subscriber Identity Module). Por sí solo, el terminal sólo permite efectuar llamadas de emergencia. El acceso a los restantes servicios proporcionados por una red GSM requiere la inserción del SIM dentro del terminal.

La comunicación entre una MS y una estación base (BTS, Base Transceiver Station) se realiza mediante la interfaz de radio Um.

Todo terminal GSM tiene un número de serie (IMEI, International Mobile Equipment Identifier) que lo identifica internacionalmente. El IMEI permite a los operadores controlar el acceso de un terminal concreto a sus redes (ej. impedir el uso de un terminal que ha sido robado o que no cumple con determinadas especificaciones técnicas).

La distinción entre terminal móvil y estación móvil permite que un mismo terminal pueda ser utilizado por diferentes usuarios, sin que existan conflictos a la hora de tarificar las

llamadas. Basta para ello que cada usuario inserte en el terminal su correspondiente tarjeta SIM.

El SIM es una tarjeta inteligente que almacena, entre otras informaciones, un identificador universal de usuario GSM (IMSI, International Mobile Subscriber Identity). El acceso a la información contenida en la tarjeta está protegido por una clave de acceso personal (PIN, Personal Identification Number) que se solicita al encender el terminal móvil.

Las tarjetas SIM están provistas de una memoria adicional que proporciona facilidades de agenda electrónica al usuario, por ejemplo permitiéndole almacenar números de teléfono. La memoria se utiliza también para guardar los mensajes cortos dirigidos al usuario.

### **Canales físicos en la interfaz de radio**

La interfaz de radio GSM original tiene reservada una banda de frecuencia en torno a los 900 MHz. El ancho de banda asignado está estructurado en 125 portadoras equiespaciadas 200 KHz. La mitad inferior de la banda (890-915MHz) está destinada a enlaces ascendentes (MS a BTS), y la superior (935-960MHz) a los descendentes (BTS a MS).

Más recientemente ha sido asignada una nueva banda en torno a los 1.8 GHz, para la variante GSM denominada DCS 1800 (DCS, Digital Cellular System). El número de portadoras disponibles en esta banda es mayor (375 portadoras). Al igual que en GSM 900, la mitad inferior de la banda (1710-1785 MHz) se emplea para las comunicaciones de MS a BTS y la superior (1805-1880MHz) para el sentido contrario.

Una célula GSM puede tener asignada uno o más pares de frecuencias portadoras. Cada operador deberá decidir el número de portadoras a utilizar en función de las que le hayan sido asignadas por el organismo regulador nacional y el tráfico que soportará cada célula.

Cada portadora se explota por múltiplex por división en el tiempo (TDM), según una estructura de trama con 8 intervalos de tiempo, lo que proporciona 8 canales individuales por cada portadora. Estos canales, a los que denominaremos canales físicos, pueden asignarse para enviar señalización o tráfico de usuario (voz/datos) de la forma que se verá más adelante.

Debemos destacar que cada par de frecuencias está formado por una en la banda ascendente (de MS a BTS) y otra en la descendente (de BTS a MS) con el fin de hacer posible la comunicación bidireccional. En general, siempre que se mencione un número de frecuencias, por ejemplo en la frase “esta célula usa tres frecuencias”, se sobreentiende que se trata de pares de frecuencias. Así la frase anterior quiere decir realmente que la célula tiene asignada tres frecuencias en sentido ascendente y otras tres en sentido descendente.

En la figura 1.2 se muestra en detalle lo antes mencionado.

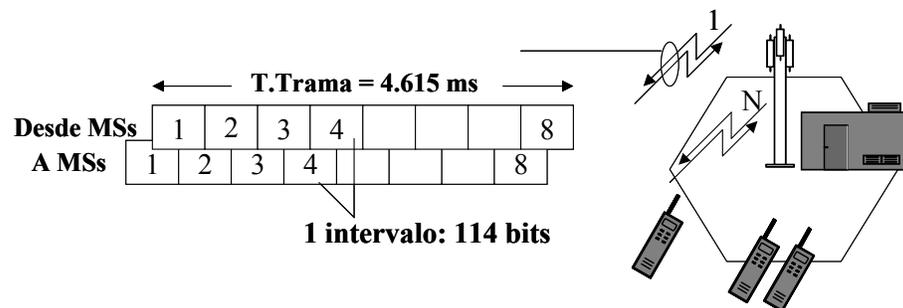


Figura 1.2 Canales físicos en la interfaz de radio.

La figura representa una célula con varios pares de frecuencias asignados y la trama TDM con 8 intervalos de tiempo que permite multiplexar en el tiempo 8 canales físicos por frecuencia. Sobre un par de frecuencias dado, el canal físico bidireccional  $i$ , con  $i = 1, 2, \dots, 8$ , estará formado por el intervalo de tiempo  $i$  en cada una de las tramas TDM, tanto en sentido ascendente como descendente. Entre el intervalo de tiempo en sentido ascendente y el intervalo de tiempo del mismo canal en sentido descendente existe un desplazamiento

temporal (no representado en la figura) para evitar que el terminal tenga que transmitir y recibir a la vez.

Como ya se ha dicho, cada uno de estos canales físicos puede utilizarse bien para transmitir señalización o bien para transmitir voz o datos de usuario.

Una portadora transmite 26 tramas cada 120 ms, en consecuencia una trama dura  $120/26$  ms ( $\sim 4,615$  ms), y la duración de un canal será de  $4.615/8$  ms ( $\sim 0.577$  ms).

Los intervalos de tiempo en que se divide una trama se denominan periodos de ráfaga (burst periods) debido a que dentro de cada intervalo se pueden transmitir una ráfaga de bits. El número de bits por ráfaga puede oscilar entre 88 y 148 según el tipo de información a transmitir (datos, señalización, ...). De estos bits, una parte está destinada al transporte de información de usuario más redundancia para protección frente a errores, correspondiendo el resto a bits de guarda y sincronismo.

Las ráfagas normales, utilizadas para tráfico de usuario (voz/datos) y buena parte del tráfico de señalización, son de 148 bits. De estos 148 bits, 114 son de información más protección contra errores. Por tanto un canal físico formado por un intervalo de tiempo por trama con las ráfagas descritas, da una capacidad bruta de  $114 \text{ bits} / 4,615 \text{ ms} = 24,7 \text{ Kbit/s}$

El empleo de un canal físico para una conversación de voz o para datos requiere la consideración de agrupaciones de 26 tramas, denominadas multitramas. Según lo visto, la duración de una multitrama de 26 tramas es de exactamente 120 ms. De los 26 intervalos de tiempo por multitrama que corresponden al canal físico considerado, solo se puede enviar voz (o datos) en 24. Por tanto la capacidad anterior se reduce en un factor de  $24/26$ . (El uso de los dos intervalos de tiempo sobrantes en cada multitrama se verá más adelante.)

La capacidad neta disponible es aún menor puesto que en los 114 bits están incluidos los bits de redundancia para protección frente a errores (con códigos específicos según se trate

de voz o datos). En el caso de la voz, se ha mencionado anteriormente que de cada 456 bits sólo 260 son de información y el resto es redundancia. El resultado de descontar de la capacidad bruta de 24,7 Kbit/s los dos intervalos no utilizados por multitrama y la redundancia es:  $24,7 * (24/26) * (260/456) = 13$  Kbit/s

Que coincide con la velocidad de transmisión que requiere la voz (los 260 bits cada 20 milisegundos).

En el caso de los datos la proporción entre información y redundancia es similar, resultando que la máxima velocidad de transmisión normalizada que se puede alcanzar es de 9.6 Kbps. (También es posible transmitir a velocidades inferiores como 4800 bps ó 2400 bps). Para más detalles sobre la transmisión de voz y datos en GSM consultar la bibliografía.

En el caso de un canal físico utilizado para enviar señalización, las multitramas son de 51 tramas. Además sobre el mismo canal físico se pueden multiplexar varios canales de señalización, cada uno de los cuales utilizará parte de los 51 intervalos de que dispone el canal físico en cada multitrama. Los detalles se verán posteriormente.

### **Subsistema de estaciones base (BSS)**

En la arquitectura GSM, se denomina Subsistema de Estaciones Base (BSS, Base Station Subsystem) al conjunto constituido por las estaciones base (BTS, Base Transceiver Station) y sus controladores (BSC, Base Station Controller).

Las BTS son los equipos que contienen los transeptores y antenas, son utilizados para las comunicaciones de radio con las estaciones móviles. Como se ha visto, una BTS puede tener asignada uno o varios pares de frecuencias portadoras, en función de las necesidades de tráfico de la célula que cubre.

Los BSC son equipos que, como su nombre indica, sirven para controlar estaciones base. Un BSC puede controlar una o más BTS (hasta varias decenas, según el fabricante). Sus principales funciones son la gestión de recursos de radio (asignación de canales a MS) y la gestión de trasposos (handover) entre las BTS que controla. Esta última facilidad es la que permite el mantenimiento de la comunicación cuando una MS cambia de célula durante el transcurso de una llamada.

Los BSC se comunican con las BTS a través del interfaz Abis, y con las centrales de conmutación de la red GSM vía la interfaz A.

### **Subsistema de conmutación (NSS)**

Dentro de la arquitectura GSM, se denomina Subsistema de Conmutación (NSS, Network Switching System) al conjunto constituido por las centrales de conmutación (MSC, Mobile Switching Centres) y los registros de información.

Los MSC son centrales similares a las utilizadas en las redes telefónicas fijas, con facilidades adicionales para el soporte de funciones específicas de las redes GSM (soporte de movilidad, trasposos, autenticación, etc.). Al igual que en la RTC o la RDSI, los MSC se comunican entre sí vía enlaces SS7 y circuitos telefónicos convencionales a 64 Kbit/s. También se comunican, a través de la interfaz A, con los BSC que dependen de ellas. Cuando un MSC actúa de pasarela con la red fija, se dice que el MSC tiene funciones de GMSC (Gateway MSC).

El tratamiento de llamadas en GSM requiere la consulta por parte de los MSC de diferentes registros de información (bases de datos). Estas consultas se llevan a cabo mediante el protocolo MAP (Mobile Application Part) del SS7, que se verá más adelante. Los principales registros son:

- Registro de Localización Base (HLR, Home Location Register): Contiene información de tipo administrativo sobre los abonados de la red (su identidad,

servicios contratados, ...). También contiene un puntero que indica la localización de cada MS en la red, expresada como el VLR en el que se encuentra registrada la MS en un momento dado. Conceptualmente, existe un único HLR por red, si bien físicamente puede realizarse como una base de datos distribuida.

- Registro de Localización de Visitantes (VLR, Visitor Location Register): Almacena información temporal de las MS que se encuentran dentro del área cubierta por una (lo habitual) o más MSC. Contiene información de localización más precisa que el HLR, indicando un área de localización (LA, Location Area ), esto es, un conjunto de células entre las cuáles se encuentra una MS dada. Como se verá posteriormente, la utilización de LA en vez de identificadores de célula, tienen por objeto reducir el tráfico de señalización relativo a los cambios de posición de las MS.
- Registro de Identidades de Equipos (EIR, Equipment Identity Register): Base de datos en la que el operador puede almacenar información relativa a terminales, identificándolos a través de sus IMEI (International Mobile Equipment Identity). El EIR puede contener, por ejemplo, una relación de IMEI correspondientes a terminales robados, de manera que se prohíba su utilización en la red.

### **Enlaces BTS-BSC-MSC**

Las comunicaciones entre BTS y BSC (interfaz Abis), y entre BSC y MSC (interfaz A) se realizan a través de sistemas MIC convencionales de 2 Mbit/s, en los que uno o más canales de 64 Kbit/s se emplean para señalización y el resto para tráfico de usuario (voz o datos).

Con objeto de aprovechar mejor los 64 Kbit/s disponibles en los canales de tráfico, éstos se dividen en cuatro subcanales de 16 Kbit/s, ya que esta capacidad es suficiente para el transporte del flujo de información intercambiado con una MS. De este modo, un mismo canal de 64 Kbit/s puede soportar cuatro conversaciones de voz o de datos.

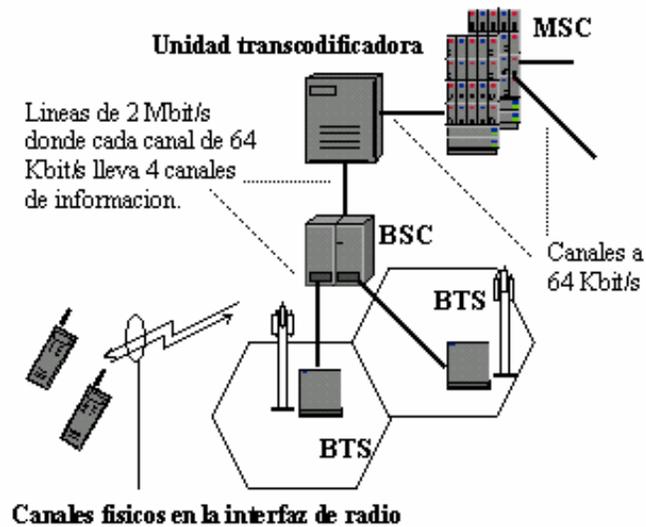


Figura 1.3 Enlaces BTS-BSC-MS

En lugar de una arquitectura en estrella como muestra la figura 1.3, las BTS pueden conectarse en cadena a su BSC con el fin de compartir canales de 64 Kbit/s en las líneas de 2 Mbit/s. Al igual que antes, el objetivo es ahorrar en la interconexión de BTSs, BSC y MSC, que típicamente es un factor de costo muy importante para el operador GSM.

En los MSC, la conmutación se efectúa sobre circuitos convencionales de 64 Kbit/s. La adaptación de velocidades (de 16 Kbit/s a 64 Kbit/s y al revés) se efectúa en las denominadas unidades transcodificadoras (TCU, Transcoder Units), que normalmente se sitúan al lado de los MSC.

### Componentes e interfaces GSM

En la figura 1.4 se resumen los distintos elementos e interfaces que componen la arquitectura funcional del sistema GSM.

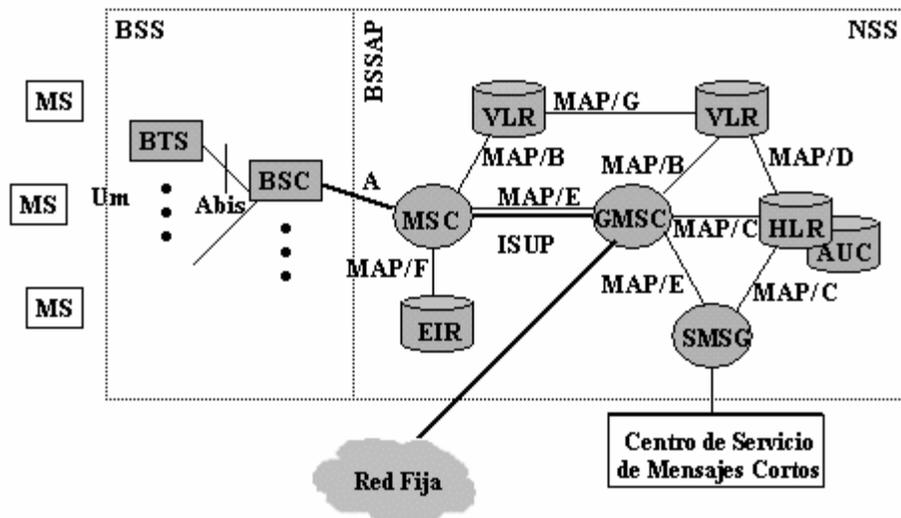


Figura 1.4 Interfaces MAP

La mayoría de los elementos funcionales ya han sido tratados con anterioridad. Las excepciones son el centro de autenticación (AuC, Autentification Center), el centro de mensajes cortos (SMSC, Short Message Service Center) y la Pasarela SMS (SMSG, SMS Gateway).

El AuC es un elemento vinculado al HLR en el que se gestionan de manera centralizada los parámetros relacionados con la seguridad y privacidad de las comunicaciones en GSM. Contiene información sobre las claves y algoritmos a utilizar en los procedimientos de autenticación y cifrado.

El SMSC es un nodo especializado en el tratamiento de mensajes cortos. Se comunica con el resto del sistema GSM a través de la pasarela SMSG. La descripción del servicio SMS se observa más adelante.

Nótese la existencia de numerosas interfaces normalizadas (Um, Abis, A, B, C, etc.) entre los distintos elementos del sistema GSM. Sobre estos sistemas se desarrollan los intercambios de señalización necesarios para el control de llamadas, la localización y traspaso de llamadas, la autenticación de usuarios, etc.

### 1.3 Panorámica de señalización

En la definición del sistema GSM se ha tratado de reutilizar, en la medida de lo posible, los protocolos y procedimientos de señalización empleados en el servicio telefónico fijo y, más concretamente, los de la RDSI. Los sistemas de señalización utilizados en dichas redes (Q931 y SS7) proporcionan mecanismos adecuados para el control de llamadas y el soporte de servicios suplementarios. No cubren, sin embargo, otras necesidades presentes en las redes GSM, como las derivadas del empleo de los recursos de radio en la interfaz de abonado o en la movilidad de los terminales [4].

La señalización en sistemas GSM da soporte a los siguientes grupos de servicios:

- Gestión de las comunicaciones: donde se incluyen las funciones tradicionales de control de llamadas (procedimientos de establecimiento y liberación) y de servicios suplementarios. También se consideran dentro de esta categoría las funciones de control asociadas al servicio de mensajes cortos.
- Gestión de movilidad: engloba los procedimientos necesarios para la localización y registro de los terminales móviles. Dentro de este tipo de funciones se consideran también las relacionadas con la seguridad (autenticación y cifrado).
- Gestión de recursos de radio: donde se consideran las funciones relacionadas con la asignación y liberación de los canales de radio y fijos necesarios para la comunicación entre terminales móviles y el MSC. Se incluyen también los procedimientos de reconfiguración de dichos canales durante los trasposos.

Lógicamente, el soporte de dichas funciones requiere la existencia de los correspondientes mecanismos para el transporte fiable de la señalización entre los distintos elementos involucrados (MS, BTS, BSC, MSC, VLR, HLR, ...).

En las redes de telefonía fija, y con la salvedad de los posibles servicios suplementarios invocados durante la llamada, el intercambio de señalización se produce fundamentalmente en las fases de establecimiento y liberación de llamadas. En el caso de GSM, es importante

tener en cuenta la existencia de flujos de señalización adicionales previos a la fase de establecimiento (ej. Localización de móviles) y durante el transcurso de la llamada (ej. Traspaso entre células).

Las funciones de gestión de la comunicación (CM, Communication Management) se desarrollan fundamentalmente entre las MS y los MSC, pasando transparentemente por los elementos intermedios BTS y BSC. Los MSC requieren el apoyo de los registros VLR y HLR. En el caso de llamadas de usuarios de la red fija, ha de considerarse también la participación de los GMSC.

Las funciones de autenticación y de gestión de movilidad (MM, Mobility Management) se basan como las anteriores en el intercambio de señalización entre las MS y los MSC, así como de éstas con los registros VLR y HLR. Los procedimientos de localización requieren la consulta y/o actualización de la información sobre la posición de las MS en dichos registros. Así mismo, los procedimientos de autenticación y cifrado requieren la consulta al HLR para el acceso a los parámetros de seguridad (en el AuC).

Las funciones del subnivel de gestión de recursos radio (RR, Radio Resource management) se desarrollan fundamentalmente entre MS y BSC. En el caso de traspasos entre BSC o entre MSC es necesaria también la intervención de uno o más MSC.

Cuando un móvil está en el curso de una comunicación, el subnivel RR es responsable de mantener en todo momento la conectividad con el móvil, aún cuando éste cambie de célula. Esto no sólo requiere el cambio de un canal de radio a otro, sino también la reconfiguración de conexiones sobre las líneas fijas que unen los elementos de la red GSM por los que pasa la comunicación. En el caso más simple se trataría de sustituir un circuito entre el BSC y la BTS de la célula que abandona el móvil por otro circuito entre el mismo BSC y la BTS de la nueva célula. Como se verá hay casos mucho más complicados.

Existen funciones RR en las BTSs. Como se verá más adelante, se trata de un conjunto de funciones mínimas (denominadas RR') añadidas a fin de agilizar los procedimientos de traspaso.

Las funciones de transporte de mensajes de señalización afectan a todos los elementos de la arquitectura GSM. Las mismas se han dividido en tramos para resaltar que la información de señalización se transporta sobre diferentes medios físicos (radio y cable) y diferentes protocolos según la interfaz que atraviese.

Como se indicó anteriormente, los protocolos de señalización utilizados en GSM se basan, hasta donde es posible, en los sistemas desarrollados para la RDSI. Entre MS y BTS, el intercambio de señalización tiene lugar a través de diversos canales de radio a los que, por analogía con la interfaz de abonado RDSI, genéricamente se les denomina canal Dm. Siguiendo con la analogía, los protocolos utilizados sobre el canal Dm se denominan LAP-Dm y Q.931m, ya que son variantes de los protocolos LAP-D y Q.931 utilizados para señalización de abonado RDSI. En cuanto a la señalización de usuario la principal diferencia entre GSM y RDSI está en el hecho de que el canal Dm es en realidad un conjunto de canales de radio cuya configuración varía incluso durante la fase de establecimiento de llamada (ver más adelante). Entre la BTS y el BSC, la señalización hace uso de enlaces LAP-D sobre cable como los empleados en RDSI.

Para la señalización interna de la red GSM y el interfuncionamiento con la red fija, se emplea el Sistema de Señalización N° 7. GSM hace uso de bloques preexistentes de la arquitectura de protocolos SS7 (MTP, SCCP, TCAP, ISUP), así como de partes de aplicación específicamente definidas para redes móviles, como la Parte de Aplicaciones Móviles (MAP, Mobile Application Part).

En los dos capítulos siguientes, dedicados respectivamente a la interfaz móvil-red y al funcionamiento de la red GSM, se describen los protocolos anteriores con más detalle.

## CAPITULO 2 INTERFAZ MÓVIL-RED

### 2.1 Arquitectura de señalización móvil-red

La figura 2.1 muestra la arquitectura de protocolos de señalización utilizada a través de las distintas interfaces existentes entre las MS y los MSC (Um, Abis y A).

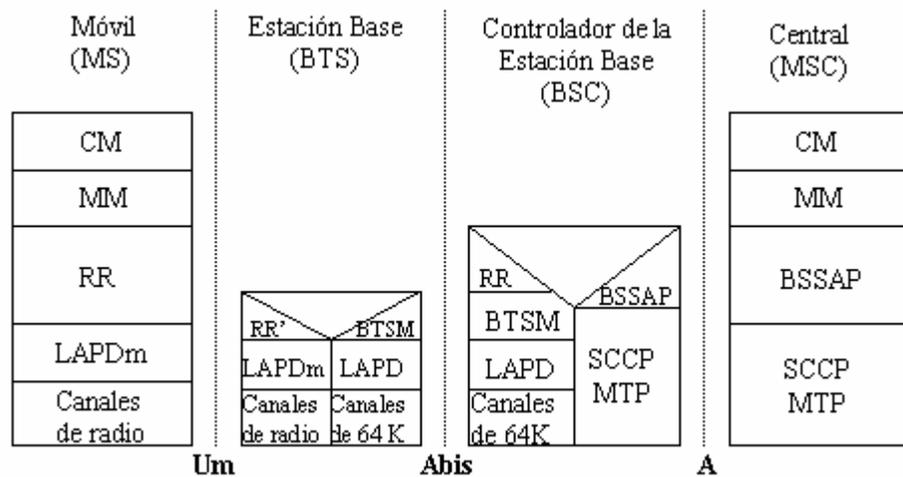


Figura 2.1 Arquitectura de la señalización Móvil-Red

El nivel 3 se descompone en los tres subniveles presentados anteriormente: gestión de la comunicación (CM), de movilidad (MM) y de recursos radio (RR).

El transporte de los mensajes de señalización entre las MS y los MSC se lleva cabo a través de los siguientes canales y protocolos:

- Entre MS y BTS (interfaz Um), a través de canales lógicos de señalización vía radio, compartidos o dedicados, sobre los que se emplea el protocolo LAPDm.
- Entre BTS y BSC (interfaz Abis), a través de canales de señalización de 64 Kbit/s sobre los que se emplea el protocolo LAP-D de RDSI.

- Entre BSC y MSC (interfaz A), sobre enlaces SS7, utilizándose un protocolo específico denominado BSSAP (BSS Application Part) sobre SCCP y MTP. El protocolo BSSAP consta a su vez de dos partes:
  - BSSMAP (BSS Management Part), para el transporte de mensajes de señalización relativos al subnivel RR entre el MSC y el BSC.
  - DTAP (Direct Transfer Application Part), para el transporte de señalización de los subniveles CC y MM entre la MS y el MSC. El BSC no participa en los procedimientos de dichos subniveles, limitándose a proporcionar funciones de pasarela para el transporte transparente de mensajes entre MS y el MSC.

Vamos a tener en las BTS la existencia de un bloque RR' situado sobre el protocolo LAP-Dm. Este bloque proporciona algunas funciones asociadas al subnivel RR. Su inclusión en las BTS tiene como objeto agilizar la gestión de recursos radio durante los trasposos para que éstos se completen más rápidamente. El bloque RR' es capaz de discriminar los mensajes a él dirigidos del resto de los mensajes del subnivel RR intercambiados entre las MS y el BSC. La discriminación se lleva a cabo mediante un bit cuyo valor 0 ó 1 indica que se trata de un mensaje RR' o RR, respectivamente.

Obsérvese también la presencia del protocolo BTSM (BTS Management) en la interfaz Abis. Mediante este protocolo, se posibilitan las tareas de operación, pruebas, mantenimiento y configuración remota de las BTS desde el BSC. Algunos ejemplos concretos de tareas que se pueden llevar a cabo mediante el protocolo BTSM son la configuración de frecuencias a utilizar por la estación base, su estructuración en canales lógicos, actualizaciones de software, realización de pruebas, etc.

## **2.2 Canales de señalización**

Como ya conocemos, las portadoras GSM se explotan en múltiplex por división en el tiempo [1, 2], de manera que cada una proporciona 8 canales físicos. Cada canal físico dispone de un intervalo de tiempo en cada trama TDM. Un mismo canal físico puede

soportar varios canales lógicos que se repartirán los intervalos de tiempo del canal físico. Existen varios canales lógicos normalizados en GSM. Cada uno transmite un tipo de información diferente (señalización de varios tipos, tráfico de usuario, ...) y tiene una determinada capacidad (mayor o menor según cuántos intervalos de tiempo tenga asignados dentro de los de su canal físico).

En primer lugar se describe para qué se usa cada canal lógico. Luego se estudia en detalle cómo se multiplexan grupos de canales lógicos sobre canales físicos. Los canales lógicos se dividen en las siguientes categorías:

- Canales de control:
  - Canales de difusión: Utilizados para difundir información general desde la BTS hacia todas las MS que se encuentren en su célula.
  - Canales de control comunes: A través de estos canales una MS puede ser alertada de que la red tiene información para ella, solicitar a la red un canal dedicado para el inicio de una sesión de radio, y recibir la confirmación del canal asignado por la red.
  - Canales de control dedicados: Son canales de señalización bidireccionales que se asignan dinámicamente y de manera exclusiva a las MS. Los canales de señalización dedicados se utilizan para el establecimiento y liberación de llamadas. También se emplean para el intercambio de información entre MS y BTS sobre medidas de nivel de señal, potencia a utilizar, etc.
- Canales de tráfico (TCH): Son canales dedicados sobre los que las MS intercambian la información de usuario (voz/datos) con la BTS. Existen dos tipos de canales de tráfico, asociados a las dos velocidades de operación de los códecs de voz (full-rate y half-rate).

Cada célula GSM tiene reservada una portadora descendente para la difusión de información desde la BTS hacia todas las MS que se encuentran bajo su alcance. Esta portadora contiene tres canales lógicos:

- La detección de la portadora de difusión es inmediata debido a la transmisión continua sobre ella de una señal sinusoidal en el canal FCCH (Frequency Correction Channel). Esta señal facilita la sincronización de las MS con la frecuencia portadora.
- El sincronismo de trama se obtiene a partir de la información difundida sobre el canal SCH (Synchronization Channel). En ella se transmite información sobre la estructura TDMA de la célula y la identidad de la estación base.
- El canal BCCH (Broadcast Control Channel) se emplea para difundir información general de la célula como el identificador del área de localización (LAI), la potencia de transmisión máxima permitida, o las portadoras de difusión de las células vecinas. Sobre la base de las medidas efectuadas por las MS sobre estas portadoras, la BTS puede decidir la realización de un traspaso.

Los canales de control comunes se utilizan para la toma inicial de contacto entre las MS y BTS ante la necesidad de iniciar una sesión radio. Ésta puede ser producto a que el usuario quiera comunicarse con la red (ej. efectuar una llamada saliente o enviar un mensaje corto) o viceversa (ej. una llamada o mensaje corto dirigido a la MS). En el primer caso, el procedimiento seguido es el siguiente:

- La MS envía a la BTS una petición sobre el canal RACH (Random Acces Channel), solicitando la asignación de un canal dedicado SDCCH para el intercambio de señalización.
- La BTS responde a la MS a través del canal AGCH (Access Grant Channel), indicándole el canal SDCCH que le ha sido asignado.

En el caso de sesiones de radio iniciadas desde la red, el procedimiento anterior va precedido del envío de un mensaje de búsqueda (paging) hacia la MS, a través del canal PCH (Paging Channel). La recepción de este mensaje en la MS indica el deseo de la red de establecer contacto debido a una llamada entrante o mensaje corto. La MS contestará solicitando un canal SDCCH a través del canal RACH, a lo que la BTS responderá por el canal AGCH.

El proceso de petición/asignación llevado a cabo sobre los canales RACH/AGCH tiene como resultado la asignación a la MS de un canal SDCCH (Stand-alone Dedicated Control Channel) bidireccional. Este canal se utiliza para intercambios breves de señalización entre la MS y la BTS:

- Envío de mensajes de actualización de posición desde la MS a la BTS, como consecuencia del encendido de la MS (IMSI attach) o la detección de cambio de un área de localización.
- Notificación del apagado de la MS (IMSI detach), con objeto de que la red no lleve a cabo los procesos de paging dirigidos a ese terminal.
- Notificar a la red el deseo de efectuar una llamada saliente o efectuar una llamada entrante (en respuesta a un mensaje de búsqueda). El diálogo sobre el canal SDCCH finaliza en el momento en que la red asigna a la MS un canal de tráfico.

Los canales SDCCH se utilizan también para enviar mensajes cortos.

El establecimiento de llamadas se completa sobre el canal FACCH (Fast Associated Control Channel), soportado físicamente sobre las mismas ráfagas que el canal TCH (Traffic Channel). El canal FACCH puede considerarse como un canal virtual que aparece y desaparece cuando se precisa el intercambio de señalización entre la MS y la BTS (p.e. establecimiento, traspaso, activación de un servicio suplementario, liberación de llamada). Los mensajes de señalización se transportan sobre ráfagas robadas al canal de tráfico. La distinción entre ráfagas de usuarios (TCH) o de señalización (FACCH) se basa en el empleo de un flag de robo.

Existe un último tipo de canales de señalización, denominados SACCH (Slow Associated Control Channel), cuyo objetivo es el intercambio de información entre la MS y la BTS acerca de la potencia y calidad de las señales. Todo canal SDCCH o de tráfico (TCH) tiene asociado un canal SACCH.

La MS emplea el canal SACCH para reportar periódicamente a la BTS las medidas de potencia y calidad de señal de la célula actual y las adyacentes. En el enlace descendente el canal SACCH se emplea para indicar a la MS la potencia de transmisión a utilizar, así como instrucciones sobre el avance temporal de la señal. Esto último es necesario a fin de corregir los posibles desajustes de transmisión de la MS sobre la trama TDMA, debido a las distintas distancias que puede existir entre cada terminal y la BTS.

Cuando una MS tiene un canal SDCCH o TCH (más su correspondiente SACCH) asignado, se dice que está en modo dedicado.

### **2.3 Correspondencia canales lógicos-canales físicos**

Los distintos tipos de canales lógicos vistos descansan sobre la estructura física común de multiplex por división en el tiempo (TDM) y frecuencia (FDM) empleada en GSM. Cada BTS tiene asignado uno o más pares de frecuencias portadoras, y cada una de éstas se estructura en ocho canales físicos bidireccionales, mediante el empleo de una trama con ocho intervalos de tiempo.

La consideración individual de cada uno de los intervalos asociados a un canal físico, a lo largo de la sucesión temporal de tramas, es el punto de partida para la definición de los canales lógicos. Así, por ejemplo, supóngase que decidiéramos asignar de manera alternada 12 intervalos para tráfico de usuario y uno para señalización. De esta manera, estaríamos definiendo dos canales lógicos (uno de tráfico y otro de señalización) sobre un mismo canal físico (la misma posición dentro de cada trama).

Los canales físicos GSM pueden clasificarse en dos categorías, según incluyan canales lógicos de tráfico (TCH/FACCH) o no. En el primer caso, los intervalos de tiempo sucesivos del canal físico se organizan en grupos (multitramas) de 26 tramas, soportando un canal TCH/FACCH y su correspondiente SACCH.

En el segundo caso, la multiplexación de canales lógicos de señalización sobre el canal físico se hace mediante multitramas de 51 tramas. Hay varias combinaciones posibles de canales lógicos sobre un mismo canal físico.

Un canal físico puede organizarse en canales lógicos de acuerdo con una serie de posibles configuraciones definidas en las especificaciones GSM. A continuación se describen las configuraciones para tráfico y señalización más frecuentes:

- Configuración para canales de tráfico: TCH/FACCH + SACCH: Esta configuración incluye, en cada sentido de transmisión, 24 intervalos (o ráfagas) de tráfico/señalización (TCH/FACCH) más una ráfaga para señalización lenta SACCH, ver figura 2.2. Un canal físico con esta configuración es capaz de soportar una conversación telefónica con codificación full-rate (o datos hasta 9600 bps). El intervalo que resta hasta completar los 26 de la multitrama no se usa.

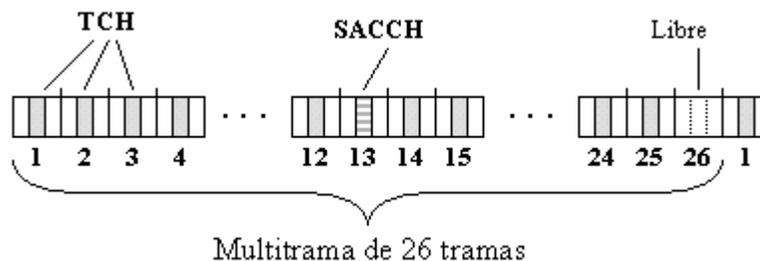


Figura 2.2 Canal físico para Tráfico.

- Configuración para canales de señalización de control comunes: RACH (MS→BTS). PCH/AGCH+BCCH+FCCH+SCH (BTS→MS): Esta configuración agrupa sobre un canal físico todos los canales lógicos de control comunes. Al tratarse de canales unidireccionales, las configuraciones en sentido ascendente y descendente son diferentes. Así, en el sentido MS a BTS solo está presente el canal de peticiones (RACH). En el sentido contrario, las 51 ráfagas de la multitrama se reparten en 36 para búsquedas/asignaciones (PCH/AGCH) y 14 para difusión (BCCH+FCCH+SCH), quedando una libre.

- Configuración para canales dedicados: SDCCH+SACCH: Proporciona 8 canales bidireccionales SDCCH y sus correspondientes 8 canales SACCH. Los 51 intervalos de la multitrama se reparten a razón de 4 ráfagas por canal SDCCH, 2 por SACCH y 3 no utilizadas.
- Configuración mixta para canales comunes (reducidos) y dedicados: Soporta en el sentido ascendente un canal RACH (27 intervalos por multitrama), 4 SDCCH (4 intervalos cada uno) y 4 SACCH (2 intervalos cada uno). En el sentido contrario, incluye un canal PCH/AGCH (12 ráfagas), un canal BCCH+FCCH+SCH (14 intervalos) y los cuatro pares de canales de retorno SDDCH+SACCH, con igual capacidad que en el sentido ascendente. Esta última configuración se denomina intervalo de señalización combinado. En este caso la capacidad de algunos canales comunes es menor que con la primera opción.

Los intervalos que quedan libres posibilitan que la MS disponga periódicamente de un margen de tiempo para la realización de tareas auxiliares (p.e. medir el nivel de señal en la célula actual y las que la rodean).

La elección de las configuraciones de canales lógicos a emplear en una célula normalmente se establece en función del volumen de tráfico a soportar. Así, por ejemplo, si se considera una célula con poco tráfico, cabría plantearse el empleo de una única portadora (por sentido) con un intervalo (canal físico) de señalización mixto (canales comunes más dedicados) y los siete restantes de tráfico (TCH/FACCH + SACCH).

Si estamos ante una célula con más tráfico, podríamos decidir el empleo de cuatro portadoras. Teniendo en cuenta los distintos tipos de combinaciones de canales lógicos que se han visto, cabría la posibilidad de establecer la siguiente asignación:

- Una frecuencia con:
  - Un intervalo para canales de señalización de control comunes (RACH, PCH/AGCH+BCCH+...).

- Dos intervalos para canales de control dedicados, lo que supondría un total de dieciséis canales SDCCH y otros tantos canales SACCH.
  - Cinco intervalos para canales de tráfico (TCH/FACCH+SACCH), con capacidad para el mismo número de conversaciones.
- Tres frecuencias para canales de tráfico, lo que supone otras 24 conversaciones más (ocho intervalos de tráfico por portadora).

(Como en otras ocasiones, las menciones a “1 frecuencia” ó “3 frecuencias” se refieren en realidad a pares de frecuencias).

#### **2.4 Protocolo de nivel de enlace (LAPDm)**

El protocolo de nivel de enlace utilizado para el transporte de señalización entre MS y BTS se denomina LAPDm. Se trata de una adaptación del protocolo LAPD utilizado en la interfaz de abonado RDSI [4]. A continuación se describen las principales diferencias entre ambos protocolos.

El canal Dm (D móvil) está físicamente soportado por un conjunto de canales lógicos GSM. El protocolo LAPDm se utiliza en los diferentes canales de control comunes y dedicados vistos, excepto en el canal RACH donde se emplea un protocolo Aloha Ranurado. Como se verá, en ocasiones es posible que el canal lógico utilizado varíe durante la vida del enlace de datos.

La estructuración de los canales lógicos GSM, dio lugar a considerar la supresión de cierta información redundante de las tramas HDLC. Como se recordará, las tramas LAPD se delimitan por flags de apertura y cierre (01111110), usándose un mecanismo de inserción de ceros (cada cinco bits consecutivos a '1') para evitar la aparición del flags dentro de la trama. En el caso de GSM, la delimitación mediante flags es innecesaria ya que las tramas se transportan sobre bloques físicos de tamaño fijo (184 bits ó 23 octetos, que dan lugar a 4 ráfagas). En consecuencia, tampoco es necesario el mecanismo de inserción de bits.

El hecho de que cada trama LAPDm se transmita sobre un bloque de 23 octetos, no implica que todos ellos sean útiles. El número de octetos útiles viene indicado por un campo de longitud de trama, rellenándose los restantes octetos con un valor por defecto (hex. 2B ó FF).

Debido a los mecanismos de protección contra errores proporcionados por el nivel físico, tampoco es necesario el empleo de una secuencia de verificación de trama. En consecuencia, las tramas LAPDm no incluyen los octetos de CRC presentes en LAPD.

Al igual que en RDSI, el protocolo LAPDm puede utilizarse para transferencias de información confirmada (intercambio de tramas numeradas con control de flujo) o sin confirmar. En los canales PCH, BCCH y AGCH sólo se emplea la segunda modalidad de operación.

Toda trama LAPDm incluye, como en RDSI, un campo de dirección. En el caso de GSM, sin embargo, la dirección ocupa un sólo octeto. El campo incluye un identificador de punto de acceso al servicio (SAPI) de 3 bits que permite discriminar el ente de nivel 3 origen o destino de la trama. Hasta la fecha, solamente se han definido los valores SAPI=0 para señalización y SAPI=3 para mensajes cortos (SMS).

El intercambio de señalización sobre las interfaces Abis (BTS/BSC) y A (BSC/MSC) se lleva a cabo mediante los protocolos de nivel de enlace LAPD y MTP2, respectivamente.

El intercambio de señalización entre BTS y BSC se lleva a cabo mediante uno o más canales D de 64Kbit/s ó 16Kbit/s, siendo necesario el empleo de enlaces de datos separados para cada transceptor. La discriminación puede hacerse mediante la utilización de canales D físicamente separados para cada portadora. Alternativamente, puede usarse un único canal de señalización común para el conjunto de transceptores. En este caso, la discriminación de los enlaces de datos asociados a cada transceptor se basa en el empleo de

distintos Identificadores de Equipo Terminal (TEI). La asignación de TEI a transceptores se establece de manera rígida al configurar el sistema.

La interfaz Abis se emplea tanto para el intercambio directo de señalización entre BTS/BSC (control de la BTS), como para el transporte transparente de señalización entre MS/BSC o MS/MS. La discriminación de estos flujos de señalización se lleva a cabo mediante información contenida en los mensajes de nivel 3. En dicho nivel es donde se especifica también los canales de radio físicos (número de intervalo dentro de la portadora) y lógicos (SDCCH, FACCH, SACCH...) sobre los que se mapean las tramas LAPDm y LAPD.

El intercambio de señalización entre BSC y MSC se lleva a cabo mediante enlaces SS7. Por motivos de redundancia, normalmente se emplea un grupo de enlaces, posibilitando también el reparto de tráfico entre éstos (balanceo de carga).

La interfaz A se emplea tanto para el intercambio directo de señalización entre BSC/MS, como para el transporte de mensajes entre las MS y el MSC. En ambos casos, se hace uso de los servicios de nivel 3 proporcionados por SCCP que, como se sabe, extiende el servicio básico de transporte de datagramas de MTP.

Los mensajes de tipo general, relativos al BSC en su conjunto (ej. reset, indicación de sobrecarga), hacen uso del servicio de red SCCP clase 0 (sin conexión). En el caso de mensajes asociados a una MS concreta (BSSAP o DTAP), se usan conexiones de clase 2. La asociación de identificadores de conexión a una MS durante las transacciones entre ésta y el MSC (actualización de posición, establecimiento de llamada, ...), evita el trasiego sobre la interfaz A de información referente al interfaz de radio (portadora, canal físico, canal lógico,...).

## 2.5 Protocolos de nivel de red

Al igual que en la RDSI, la señalización de abonado GSM (móvil-red) está estructurada en niveles de acuerdo con el modelo OSI.

En la figura 2.3 se muestran las funciones de señalización correspondientes al nivel 3 del interfaz móvil-red (RIL3, Radio Interface Layer 3), las cuales se descomponen en los siguientes tres subniveles:

- Subnivel de gestión de la comunicación (CM): Incluye los bloques de control de llamada (CC), control de servicios suplementarios (SS) y de soporte de servicios de mensajes cortos (SMS). Los procedimientos asociados a este subnivel se definen en términos de secuencias de mensajes intercambiados entre las MS y los MSC (las BTS y los BSC actúan de manera transparente). Los procedimientos de CC y de SS están basados en los utilizados por RDSI (Q.931 y Q.932).
- Subnivel de gestión de movilidad (MM): Situado por debajo del subnivel CM, este subnivel es el responsable de los procedimientos asociados a la movilidad de los terminales (actualización de posición) y a los mecanismos de seguridad (autenticación y cifrado).
- Subnivel de Recursos Radio (RR): El subnivel inferior se encarga de gestionar los recursos de comunicación a utilizar entre la MS y el MSC durante una sesión radio. Estos recursos incluyen tanto los canales de radio sobre la interfaz Um (MS → BTS), como el resto de los canales fijos (BTS → BSC → MSC) necesarios para completar la comunicación entre el móvil y el MSC.

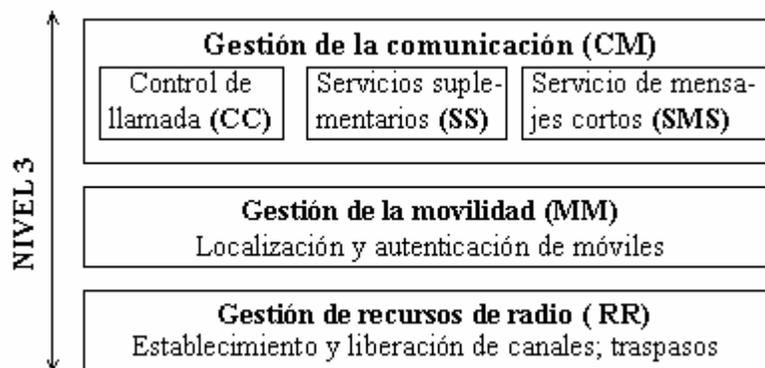


Figura 2.3 Señalización móvil red – nivel 3

El subnivel de RR puede intervenir durante el transcurso de una sesión radio ante la necesidad de efectuar el traspaso de una MS a otra célula. La decisión de efectuar un traspaso puede determinarla un BSC (traspaso entre células dependientes de un mismo BSC) o un MSC (células de distintos BSC).

## 2.6 Procedimientos de gestión de recursos de radio

En telefonía fija, el bucle de abonado proporciona un medio de transmisión en exclusiva, continuamente disponible para las comunicaciones entre el terminal de abonado y la central. En cambio, en un sistema celular como es el GSM, los recursos de transmisión entre MS y MSC (canales radio, circuitos de voz entre BTS/BSC y BSC/MSC) son compartidos, asignándose dinámicamente en función de las necesidades puntuales de comunicación entre terminales y red. El subnivel RR abarca precisamente el conjunto de procedimientos relacionados con el establecimiento, mantenimiento y liberación de los recursos de transmisión (trayectos de señalización y, eventualmente, de voz) que posibilitan la subsiguiente comunicación entre la MS y la red.

Los procedimientos RR implican el intercambio de señalización sobre las interfaces Um, Abis y A. Los procedimientos se desarrollan mediante una serie de diálogos directos e indirectos entre la MS, la BTS, el BSC y el MSC:

- MS y BSC: Incluye los procedimientos de petición/asignación dinámica de canales de radio a las MS, al inicio de una comunicación o, durante ella, como consecuencia de un traspaso. La asignación de canales de radio se gestiona desde el BSC. La BTS pasa los mensajes desde o hacia la MS sin intervenir.
- MS y BTS: Normalmente, el diálogo directo entre MS y BTS se reduce a las medidas que periódicamente envía la primera a la segunda a fin de poder determinar la conveniencia o no de efectuar un traspaso. Como excepción, también se ha previsto la posibilidad de que, como consecuencia de un traspaso, la BTS pueda responder directamente a la MS cuando ésta accede por primera vez a la nueva célula, permitiéndose así que el traspaso se complete más rápidamente.
- BTS y BSC: El BSC controla la activación y desactivación en la BTS de los canales radio asignados para las comunicaciones con las MS. De esta manera se evita el consumo de potencia en los transceptores durante los intervalos correspondientes a canales no asignados. Estos diálogos se realizan mediante el protocolo BTS Management (BTSM).
- BSC y MSC: El objetivo final de una sesión RR es el establecimiento de un trayecto de señalización y, eventualmente, de voz, entre la MS y el MSC. En consecuencia, es necesario también el diálogo entre el BSC y el MSC con objeto de completar el tramo final de la comunicación. Este diálogo se lleva a cabo a través del protocolo BSSMAP.

Una MS puede iniciar una sesión radio, solicitando para ello que se le asigne un canal de señalización dedicado, por múltiples motivos. Quizás los más obvios son el deseo de efectuar una nueva llamada saliente o responder ante el aviso de una llamada entrante. Existen, no obstante, muchas otras situaciones que desencadenan el diálogo entre la MS y la red.

Cuando se activa una MS, es necesario que la red tenga conocimiento de este hecho a fin de conocer la ubicación del terminal móvil. Esta información resulta imprescindible para que la red pueda encaminar correctamente las llamadas hasta la célula en la que se encuentra la

MS. Al mismo tiempo, el conocimiento del estado activo o no de un terminal, permite a la red determinar si tiene sentido o no tratar de completar la llamada, evitando el consumo innecesario de recursos.

Este último aspecto, trae consigo la necesidad de que la MS comunique también a la red su paso a estado inactivo, cuando el abonado procede al apagado del terminal pulsando el botón de desconexión (off). Esta acción desencadena el inicio de una sesión radio para notificar a la red que el terminal va a ser desconectado. El apagado efectivo del terminal se produce tras la finalización de este diálogo.

Como en todo sistema radio, las redes GSM están sujetas a una serie de fenómenos adversos (interferencias, desvanecimientos de señal, etc.) que pueden dar lugar a la pérdida temporal de contacto con la MS. En consecuencia, también se han previsto diálogos RR para el restablecimiento de la comunicación

Finalmente, recordemos la existencia del servicio de mensajes cortos (SMS). Lógicamente, el envío o recepción de estos mensajes da lugar también a los oportunos diálogos RR. La principal diferencia entre este tipo de diálogos y los asociados al resto de servicios (telefonía, datos o fax), estriba en que el servicio SMS no requiere la asignación de canales de tráfico, puesto que los mensajes se envían sobre canales de señalización.

### **Uso del canal de señalización dedicado**

La figura representa el intercambio de señalización sobre la interfaz de radio correspondiente al inicio de una sesión RR.

Supongamos una MS activa en reposo (sin llamadas) dentro de una determinada célula. La MS monitorea el canal de difusión BCCH que le indica la célula en la que se encuentra y la estructura de canales físicos y lógicos de la misma. Esta información incluye la indicación

precisa del canal PCH, que la MS explora periódicamente a fin de detectar los posibles mensajes de aviso (paging) dirigidos hacia ella.

Ante la detección de un mensaje de aviso dirigido a la MS, esta procede al envío sobre el canal de acceso aleatorio RACH de un mensaje solicitando la asignación de un canal de señalización SDCCH. Este mensaje, de tan solo 8 bits, contiene un número aleatorio de 5 bits escogido por la MS, y 3 que indican el motivo de la solicitud (respuesta a un mensaje de aviso, en este caso). Tras las eventuales colisiones con otros mensajes de solicitud enviados por otras MS, y los correspondientes reintentos, el mensaje alcanzará la BTS y, desde ésta, el BSC.

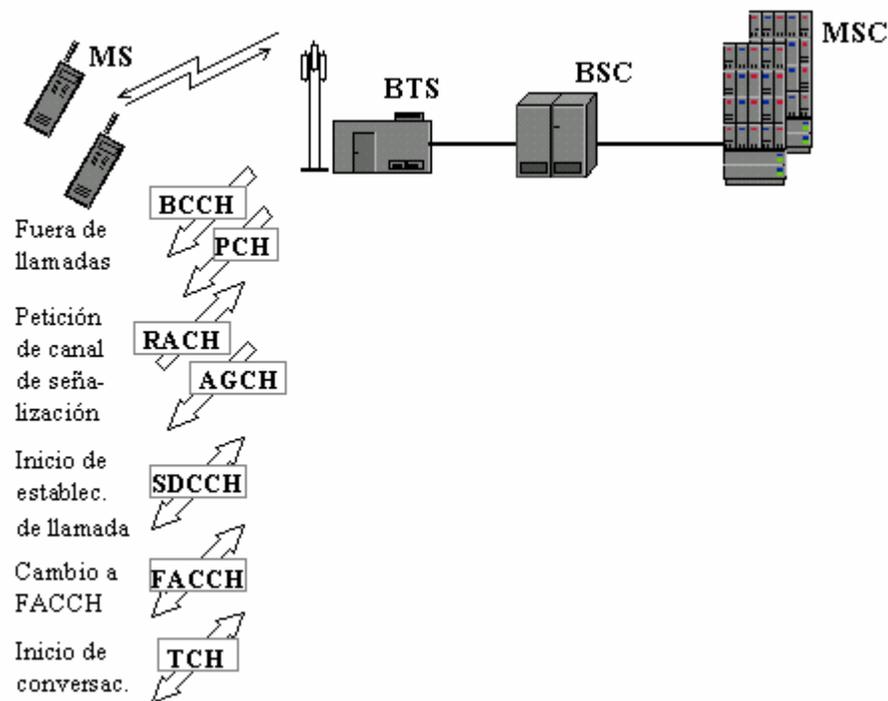


Figura 2.4 Petición y uso del canal de señalización dedicado

El BSC busca un canal SDCCH libre y envía el mensaje de asignación hacia la MS, que se transmite sobre el canal AGCH. El mensaje de respuesta contiene la referencia aleatoria de 5 bits a fin de especificar claramente la MS a la que se le está asignando el canal SDCCH. La respuesta indica con precisión la frecuencia, intervalo de tiempo y ranuras del canal asignado. También incluye información sobre la potencia inicial de transmisión e

indicaciones de avance de tiempo (en función de la distancia entre MS y BTS, indica a la MS si ha de adelantar o retrasar el inicio de la transmisión a fin de evitar interferencias con otras MS). A partir de este momento, el intercambio de señalización entre MS y BTS se efectúa a través del canal SDCCH.

Una MS puede también iniciar el diálogo con la red por decisión propia, sin necesidad de que exista un mensaje de aviso sobre el canal PCH. Éste sería el caso, por ejemplo, de una sesión radio para efectuar una llamada saliente, enviar un mensaje corto, o informar del cambio de célula (actualización de posición). El procedimiento de inicio de la sesión radio en estas situaciones se reduce al procedimiento de petición/asignación de canal SDCCH sobre los canales RACH y AGCH que acaba de describirse, indicando el motivo de la solicitud (petición de usuario, llamada de emergencia, reestablecimiento de comunicación). Una vez asignado el canal SDCCH, la MS dispone de un recurso en exclusiva para el intercambio de señalización con la BTS. Este intercambio se lleva a cabo, como ya se ha indicado anteriormente, a través del protocolo LAPDm.

El establecimiento del enlace de datos se efectúa mediante el envío de la trama SABM (Set Asynchronous Balanced Mode) desde la MS hacia la BTS. La recepción de dicha trama se confirma desde el lado de la red mediante el envío de una trama UA (Unnumbered Acknowledgement).

A diferencia de otros protocolos HDLC, la trama SABM del protocolo LAPDm incluye el campo de información. Ello posibilita el envío de un mensaje inicial dentro de la trama de apertura del enlace que incluye información sobre:

- El motivo por el que se accede a la red: respuesta a mensaje de aviso, actualización de posición, desactivación de MS, o solicitud de servicio.
- La clase de terminal, que identifica la potencia RF, los algoritmos de cifrados que soporta, la frecuencia de operación (GSM 900 o DCS 1800) y el soporte del servicio SMS.

El mensaje inicial incluye también un identificador único (IMSI). Este hecho se aprovecha para resolver las posibles colisiones que no han sido detectadas en el procedimiento de petición asignación de SDCCH. En dicho procedimiento, existe una pequeña probabilidad (un 1% en situaciones de tráfico elevado) de que dos MS escojan la misma referencia aleatoria, interpretando ambos que les ha sido asignado el mismo canal SDCCH. Este tipo de colisiones se resuelve durante la apertura del enlace LAPDm, mediante la inclusión en la trama UA del mensaje inicial recibido en la trama SABM. Puesto que no es posible que dos mensajes iniciales coincidan (diferirán al menos en el IMSI), solamente la MS que envió dicho mensaje completa el establecimiento del enlace. Al detectar las restantes MS un mensaje inicial distinto al enviado por ellas, consideran el canal SDCCH ocupado, volviendo a iniciar un nuevo proceso de petición/asignación.

Una vez establecido el enlace LAPDm sobre el canal SDCCH, los mensajes subsiguientes intercambiados entre la MS y la red dependerán del motivo concreto que ha dado lugar al inicio de la sesión radio.

En el caso de una llamada, el siguiente paso consiste en verificar la identidad del usuario y determinar la clave de cifrado a utilizar para el envío de información. Estas tareas se llevan a cabo a través de los procedimientos de autenticación y cifrado, pertenecientes al subnivel MM.

Llegados a este momento, da comienzo el procedimiento de establecimiento de llamada mediante el intercambio de mensajes Q.931. Dichos mensajes se transportan sobre el canal SDCCH hasta que se asigna un canal de tráfico TCH a la MS. A partir de ese instante, el canal SDCCH se libera, completándose el establecimiento de la llamada sobre el nuevo canal asignado, utilizado como canal FACCH.

La asignación de un canal TCH/FACCH se puede hacer inmediatamente antes de que el teléfono del usuario llamado empiece a sonar (lo que en el lado llamante se indica por el tono de llamada). La asignación del canal de tráfico puede también retrasarse hasta el inicio

de la fase de conversación, en cuyo caso todo el establecimiento se realiza sobre el SDCCH (esto se denomina off-air call setup). Esto reduce la utilización de los canales de tráfico, pero puede darse el caso de que cuando el usuario llamado responde no haya canales de tráfico libres (además de aumentar la utilización de los canales SDCCH).

Una vez establecida la llamada, el canal TCH se usa para el envío de voz. Al mismo tiempo, el canal asociado SACCH (1 de cada 26 tramas) se emplea para el intercambio de medidas. En caso de necesitar el envío de señalización durante una llamada (ej. activación de un servicio suplementario), el canal de conversación se utiliza temporalmente como canal FACCH. La liberación de la llamada se efectúa del mismo modo, esto es, utilizando las ráfagas del canal de conversación como ráfagas del canal FACCH.

### Detalles de establecimiento/liberación de canales de señalización

En la figura 2.5 se representa el detalle de los distintos mensajes de señalización intercambiados sobre las interfaces Um, Abis y A durante el inicio de una sesión radio para el establecimiento de una llamada (voz/datos/fax) originada en la MS.

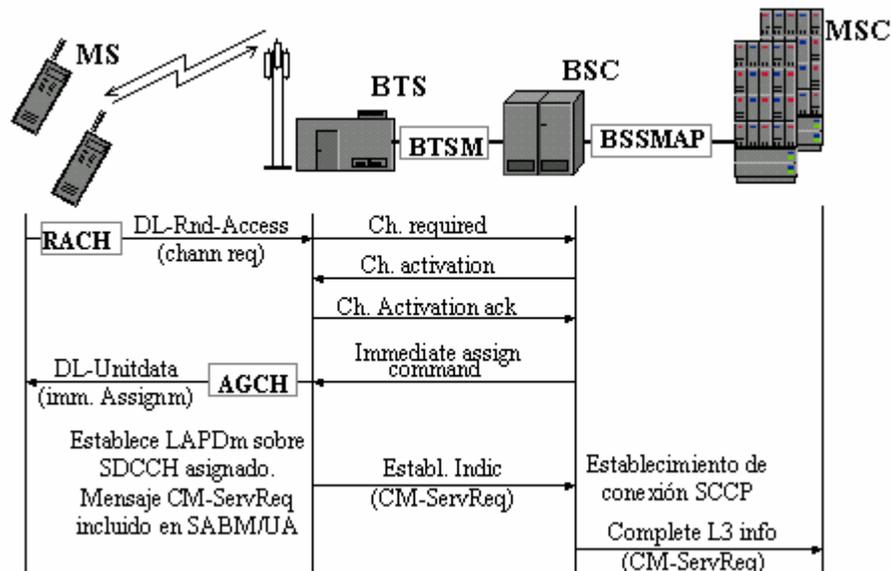


Figura 2.5 Establecimiento de canales de señalización – MS llamante

El proceso comienza con el envío del mensaje `channel_required` sobre el canal RACH. La BTS reenvía la petición hacia el BSC mediante el envío del mensaje `channel_required`. El BSC busca un canal SDCCH libre, solicitando su activación en el transceptor correspondiente mediante el envío del mensaje `channel_activation` hacia la BTS, que ésta confirma respondiendo con el mensaje `channel_activation_ack`. Acto seguido, el BSC envía hacia la BTS el mensaje `immediate_assignment_command`, indicando el canal SDCCH que se está asignando. La BTS retransmite la respuesta hacia la MS sobre el canal AGCH, mediante el mensaje `DL_Unitdata(immediate_assignment)`.

Una vez que la MS dispone de un canal de señalización SDCCH, el siguiente paso consiste en abrir un enlace de datos LAPDm. Esto se lleva a cabo mediante el intercambio de las tramas SABM/UA, que incluyen un mensaje inicial con el parámetro `CM_Service_Request` que indica el motivo de la conexión.

La recepción del mensaje inicial en la BTS da lugar al envío del mensaje `Establish_Indication(CM-ServReq)` hacia el BSC, que origina el establecimiento de una conexión SCCP con el MSC. Sobre dicha conexión se envía el mensaje `Complete_L3_Info` de modo que la petición `CM-Service Request` alcanza al MSC. De este modo queda establecido un trayecto de señalización entre la MS y el MSC.

Una vez establecido el trayecto de señalización entre la MS y el MSC, entran en juego los procedimientos de autenticación y cifrado, seguidos de los de establecimiento de llamada. Dejando por el momento los detalles concretos de dichos procedimientos, llegará un instante en el que el MSC determine la necesidad de establecer un trayecto de comunicación en exclusiva para el intercambio de tráfico de usuario con la MS. Ello se lleva a cabo mediante el envío del mensaje `Assignment Request` hacia el BSC, reservándose un subcanal de 16Kbit/s en la interfaz A.

A continuación, el BSC procede a buscar un canal de tráfico TCH libre y solicita su activación en el transceptor correspondiente mediante la instrucción `channel_activation`, a

la que la BTS responde con el mensaje de asentimiento `channel_activation_ack`. Tras reservar un subcanal de 16 Kbit/s sobre la interfaz Abis, el BSC envía el mensaje `assignment_comand` hacia la BTS, que ésta retransmite sobre el canal SDCCH hacia la MS. En el instante en el que la MS recibe la indicación de que le ha sido asignado un canal de conversación (TCH), cesa la utilización del canal SDCCH. A partir de entonces, todos los mensajes de señalización se envían por el canal de tráfico, utilizado como FACCH. El primero en enviarse sobre dicho canal es el mensaje `assignment_complete`, con el que la MS confirma que pasa a utilizar el canal de tráfico. La recepción de este mensaje en el BSC, da lugar a la desactivación del canal SDCCH en la BTS, mediante el intercambio de los mensajes `RF_Channel_Release` y `RF_Channel_Release_ack`. Al mismo tiempo, el mensaje `assignment_complete` se retransmite hasta el MSC.

El siguiente paso consiste en el intercambio de mensajes de control de llamada sobre el canal FACCH a fin de completar la fase de establecimiento, entrando a continuación en la fase de conversación, donde el canal de tráfico se usa como tal (TCH).

Recuerde que, con objeto de aprovechar la capacidad de los sistemas MIC entre MSC/BSC/BTS, cada canal de 64Kbit/s se divide en 4 subcanales de 16Kbit/s, capacidad suficiente para el transporte de una conversación GSM (unos 13 Kbit/s). Entre el BSC y el MSC se interpone una unidad transcodificadora que efectúa la conversión de 16Kbit/s a 64Kbit/s, velocidad tradicionalmente utilizada por las centrales de conmutación.

Lo antes expuesto se muestra en la figura 2.6 que aparece a continuación:

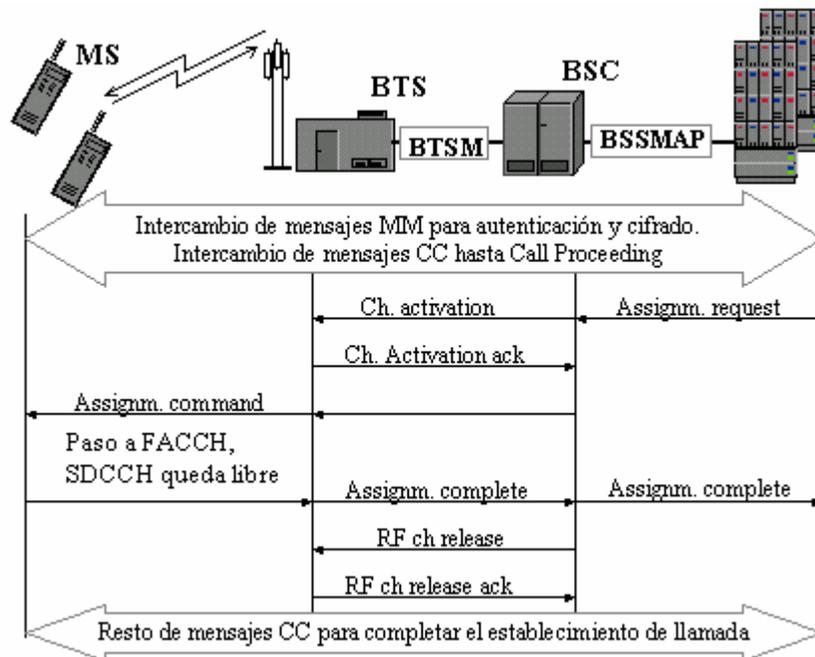


Figura 2.6 Establecimiento de canales de señalización – MS llamante (cont.)

En la figura 2.7 se representa el flujo de señalización entre la MS y el MSC en el caso de una llamada entrante. El diagrama presupone que, mediante la consulta al HLR, la red ha determinado el MSC visitado bajo el que actualmente se encuentra la MS llamada, habiéndose establecido un circuito entre el MSC origen y visitado.

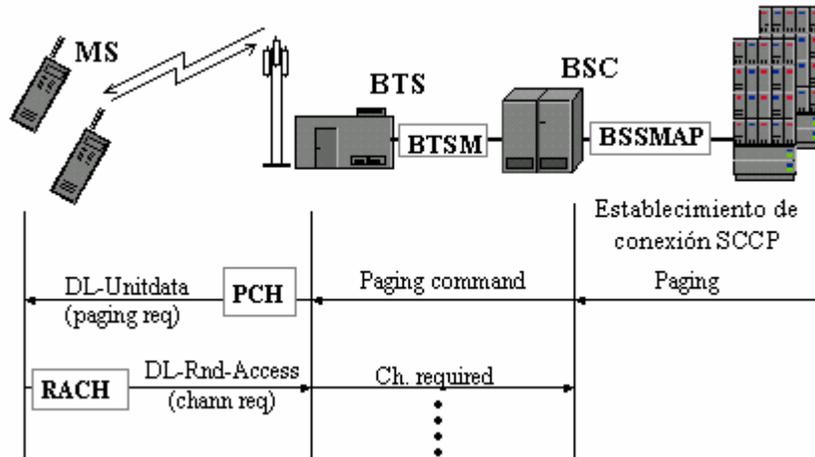


Figura 2.7 Establecimiento de canales de señalización – MS llamado

El diagrama comienza con el establecimiento de una conexión SCCP entre el MSC y el BSC que, según la información almacenada en el VLR, cubre el área de localización en la que se encuentra la MS. Sobre la conexión SCCP se envía el mensaje de paging, que la BSC retransmite hacia la BTS (paging\_command) y ésta, sobre el canal PCH, hacia la MS (paging\_req).

Al detectar la MS el mensaje de aviso, se desencadena el inicio de una sesión radio, solicitándose la asignación de un canal SDCCH mediante el envío del mensaje channel\_request sobre el canal de acceso aleatorio RACH. El procedimiento que sigue a continuación es análogo al de una llamada saliente, salvo que en el mensaje inicial de apertura del enlace LAPDm contendrá el parámetro Paging\_Response en vez de Service\_Request.

El diagrama de la figura 2.8 representa el intercambio de señalización correspondiente al cierre de la sesión radio. El objetivo de este procedimiento es la liberación de recursos a lo largo del trayecto de señalización entre el MSC y la MS. Se trata de una liberación en cadena controlada desde el MSC.

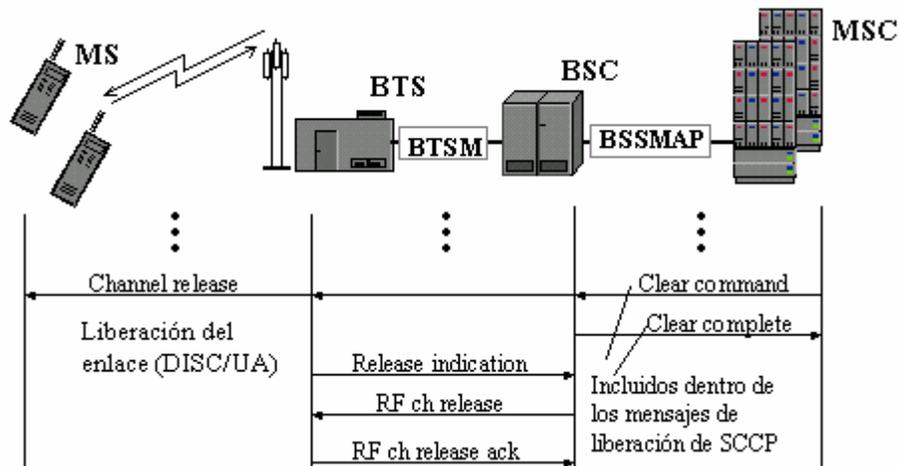


Figura 2.8 Liberación de canales

El procedimiento comienza con la liberación de la conexión SCCP entre el MSC y el BSC. El mensaje de liberación que el MSC envía al BSC incluye la orden clear\_command. El

BSC confirma la liberación de la conexión SCCP e incluye en la respuesta el mensaje clear\_complete.

La recepción de la orden clear\_command en el BSC da lugar al envío, vía la BTS, del mensaje channel\_release hacia la MS. Cuando la MS recibe este mensaje, procede a cerrar el enlace de datos LAPDm sobre el canal de radio de señalización (FACCH en el caso de una llamada), mediante el intercambio de las tramas DISC y UA.

La liberación del enlace LAPDm origina el envío del mensaje release\_indication desde la BTS hacia el BSC, procediéndose a la desactivación del canal radio.

### **Traspaso de llamada**

El traspaso o handover es una facilidad que permite cambiar de canal de radio al desplazarse el móvil a otra célula durante el transcurso de una llamada, sin que se pierda la comunicación. Los procedimientos de traspaso se basan en las medidas de calidad que continuamente realiza la MS en la célula actual y las adyacentes, y que periódicamente envía hacia el BSC a través del canal SACCH (al menos una vez por segundo). Sobre la base de dichas medidas, el BSC puede determinar la conveniencia de efectuar el traspaso de la MS a una nueva célula (BTS).

Existen tres tipos de traspasos, en función de si la nueva BTS pertenece al mismo BSC que la célula actual, a otro BSC bajo la mismo MSC, o a un BSC de otro MSC. Los dos primeros tipos de traspasos, denominados traspasos internos, se resuelven mediante procedimientos del subnivel RR. El tercer tipo de traspaso, externo, requiere además el empleo de procedimientos MAP/SS7.

A los tres tipos de traspaso anteriores, cabría sumar la posibilidad de que debido a una degradación de calidad, se decidiera el empleo de otro canal dentro de la misma célula. Este

traspaso, dentro de una misma BTS, sería un caso particular del primer tipo. Igualmente la red podría decidir realizar traspasos para redistribuir tráfico entre células.

La figura 2.9 representa un ejemplo en el que, debido al recorrido seguido por una MS durante el transcurso de una llamada, tienen lugar los tres tipos de traspasos mencionados anteriormente.

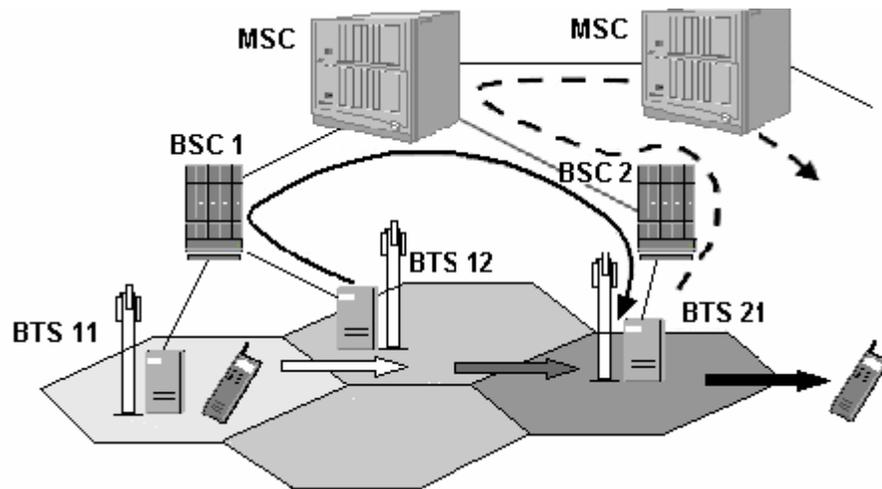


Figura 2.9 Tipos de traspaso

Inicialmente, el usuario se encuentra en la célula cubierta por la BTS11. Al desplazarse, llega un momento en el que la señal procedente de la BTS12 se recibe con mejor calidad que la de la célula BTS11. En consecuencia, el BSC1 decide efectuar el traspaso de la MS a la célula BTS12. Puesto que ambas células pertenecen al mismo BSC, el procedimiento de traspaso se resuelve directamente entre las dos BTS involucradas y el BSC.

Más adelante, la MS prosigue su itinerario y comienza a penetrar en la célula BTS 21. Al detectar el BSC1 que la señal de la BTS21 se percibe en la MS mejor que la de la célula actual (BTS12), decide un nuevo traspaso. En este caso, la nueva célula está controlada por otro BSC. En consecuencia, el procedimiento de traspaso requiere la intervención del MSC.

Por último, la trayectoria de la MS hace que ésta entre en una nueva célula que pertenece a otro MSC. En este caso, el procedimiento de traspaso obliga el diálogo entre los dos MSC afectados.

En la figura 2.10 se representa el procedimiento de inicio y fin de traspaso entre dos BTS controladas por el mismo BSC.

El móvil monitoriza continuamente la calidad de las señales recibidas de la célula actual y las que la rodean, enviando periódicamente (al menos una vez por segundo) las medidas hacia el BSC sobre el canal SACCH. El móvil puede llegar a medir la señal de hasta 16 células vecinas. Con estas medidas se determinan las seis células mejores candidatos para recibir al móvil tras el traspaso.

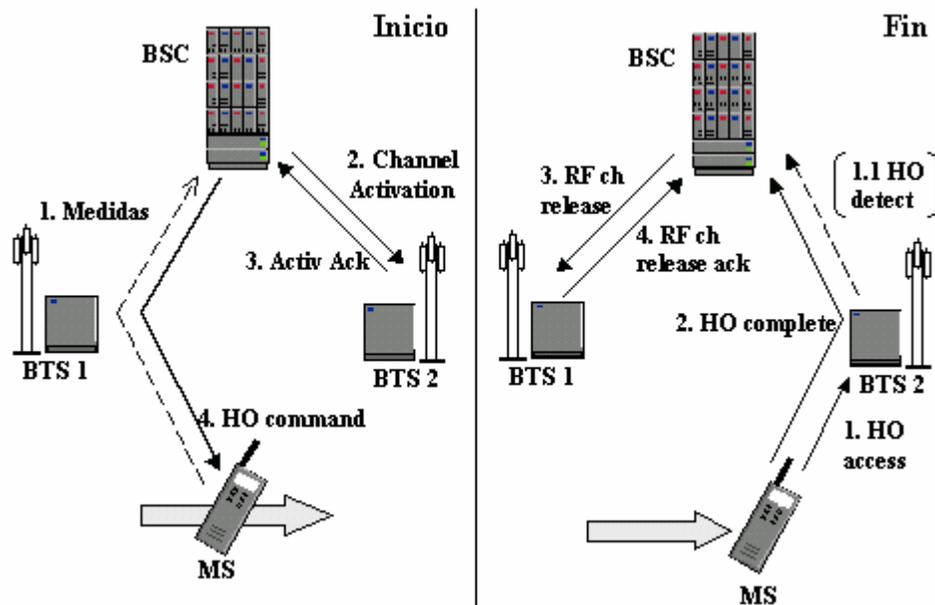


Figura 2.10 Inicio y fin de traspaso intra BSC

El BSC analiza las medidas y llega a la conclusión de que conviene efectuar el traspaso a la BTS2. Con objeto de agilizar el traspaso, y antes de informar a la MS del cambio de célula,

procede a reservar un canal de radio en la BTS2, solicitando a ésta su activación mediante el mensaje `channel_activation`.

La BTS2 confirma la activación del nuevo canal radio enviando hacia el BSC el mensaje `activation_ack`. Acto seguido, el BSC ordena a la MS que proceda a utilizar el nuevo canal de radio mediante el mensaje `HO_Command`, sobre ráfagas FACCH del canal de conversación. La orden `HO_Command` incluye una referencia que identifica el traspaso e indica con precisión la célula, portadora e intervalo de tiempo del nuevo canal de tráfico a utilizar por la MS.

Una vez recibida la orden `HO_Command` en la MS, tiene lugar el procedimiento de fin de traspaso. El procedimiento se inicia mediante la transmisión del mensaje `HO_Access` sobre el nuevo canal de tráfico utilizado como FACCH.

Mientras tanto, las muestras de voz se siguen enviando sobre el canal TCH de la célula 1. A fin de evitar la pérdida de muestras durante el acceso a la nueva célula, el mensaje `HO_Acces` es más corto de lo habitual (media trama LAPDm, equivalente a dos ráfagas). Este mensaje incluye la referencia que se asignó al traspaso en el mensaje `HO_command`.

Con objeto de agilizar el traspaso, se ha previsto que la BTS pueda, como opción, enviar el mensaje `HO_detect` hacia el BSC nada más al detectar la orden `HO-access`. Dicho mensaje hace que se reserve inmediatamente un circuito de voz entre la BTS2 y el BSC, adelantando trabajo a fin de que el traspaso se complete lo antes posible.

Mientras tanto, la MS habrá tenido tiempo de prepararse para el cambio de canal, sincronizándose para la transmisión y recepción en el nuevo intervalo de tiempo. En algunos casos, esto requiere el envío de un mensaje de información de nivel físico desde la BTS al móvil en respuesta al mensaje `HO_access`. Llegado a este punto, envía la orden `HO_complete` hacia la BTS2, que se retransmite hasta el BSC. A partir de entonces, la comunicación se lleva a cabo sobre el nuevo canal TCH/FACCH.

El último paso consiste en liberar el antiguo canal de radio. El BSC envía la orden RF\_Channel\_Release hacia la BTS1, a lo que ésta asiente con el mensaje RF\_Channel\_Release\_ACK.

Una vez realizado el traspaso, el BSC puede informar del mismo al MSC mediante un mensaje denominado HO\_performed.

En la figura 2.11 se representa el procedimiento de traspaso entre dos BTS controladas por diferentes BSC dependientes de un mismo MSC.

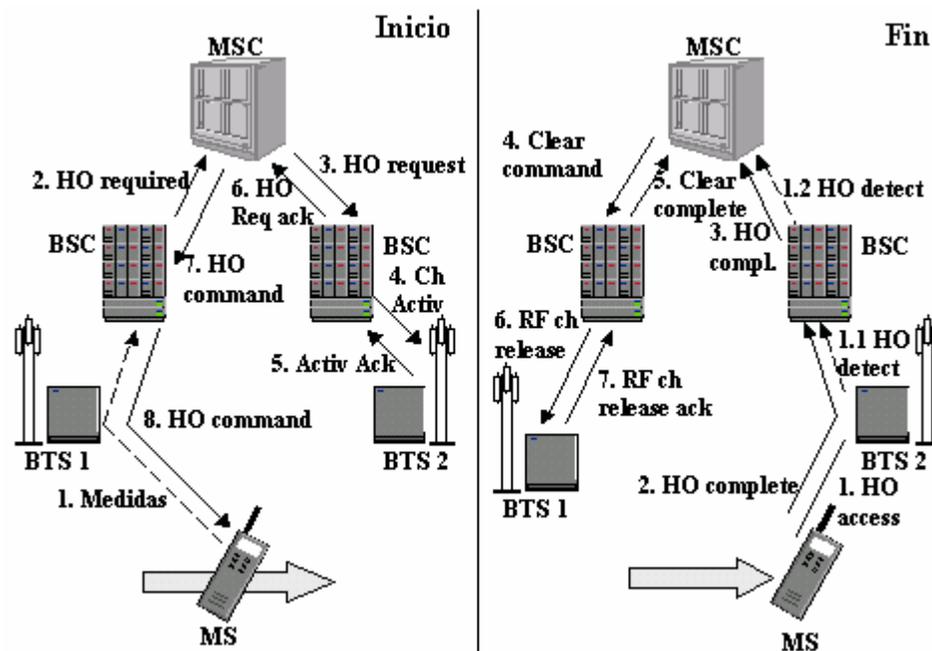


Figura 2.11 Inicio y fin de traspaso intra MSC

Como en todo traspaso, la decisión la toma el BSC que controla la BTS bajo la que se encuentra actualmente la MS. El BSC1 analiza las medidas que la MS le envía periódicamente sobre el canal SACCH y decide que ha de efectuarse el traspaso a la BTS2. Puesto que esta BTS depende de otro BSC, el traspaso requiere el intercambio de señalización entre los dos BSC a través del MSC.

El procedimiento de traspaso se inicia mediante el envío de la orden HO\_required desde el BSC1 hacia el MSC. Éste informa al BSC2 mediante la orden HO\_request, lo que da lugar a la búsqueda de un canal radio libre en la BTS2 y su correspondiente activación mediante el intercambio de los mensajes channel\_activation y channel\_activation\_ack.

Una vez reservado y activado el nuevo canal de radio en el BSC2, éste se lo notifica al MSC mediante el mensaje HO\_request\_ack. El MSC procede entonces a informar al BSC1 de que todo está listo para completar el traspaso, a través del mensaje HO\_command, que se retransmite vía la BTS1 hacia la MS. La información contenida en este mensaje es básicamente la que el MSC ha recibido previamente del BSC2 en el mensaje HO\_request\_ack. Cuando la MS recibe la orden HO\_command, procede a completar el traspaso según se describe a continuación.

La orden HO\_command indica a la MS la frecuencia e intervalo de tiempo del nuevo canal de radio a utilizar en la BTS2. La MS procede a enviar el mensaje HO\_Access sobre dicho canal de radio utilizado como FACCH.

La detección del mensaje HO\_access en la BTS2 hace que ésta informe al BSC2 del intento de acceso mediante el mensaje HO\_detect. A su vez, el BSC2 se lo notifica al MSC. Estos dos mensajes dan lugar al establecimiento de un nuevo trayecto de comunicación (señalización+tráfico de usuario) entre la MS y el MSC a través de la BTS2 y el BSC2.

Como en el caso del traspaso dentro de un BSC, el mensaje HO\_access puede requerir un mensaje de respuesta con información de sincronización para la MS. El mensaje HO\_detect es opcional.

La MS, que hasta entonces seguía utilizando el canal radio de la célula 1, procede a utilizar el nuevo. El cambio se efectúa enviando un primer mensaje HO\_Complete sobre el nuevo canal de tráfico, sobre ráfagas FACCH, que se retransmite hacia el MSC. A partir de ese instante, la comunicación entre MS y MSC se lleva a cabo a través del trayecto

BTS2/BSC2, pasando la MS a enviar y recibir las muestras de voz sobre el nuevo canal TCH.

Llegados a este punto, el MSC procede a liberar los recursos de transmisión sobre el trayecto de comunicación BSC1/BTS1. Esto se hace enviando la orden Clear\_command hacia el BSC1, y éste confirma mediante Clear\_complete. Ello va acompañado del intercambio de los mensajes RF\_channel\_release y RF\_channel\_release\_ack entre el BSC1 y la BTS1 a fin de liberar el antiguo canal de radio TCH/FACCH.

### **Resumen de la sesión RR**

Toda comunicación entre la MS y el MSC (para realizar o responder una llamada, para notificar su nueva localización,...) se desarrolla dentro de una sesión de radio. El objetivo de una sesión de radio es proporcionar a la MS un medio físico (un trayecto de transmisión y señalización sobre las interfaces Um, Abis y A) para el intercambio de señalización y tráfico de usuario con el MSC.

Una sesión de radio proporciona un trayecto de señalización completo entre la MS y el MSC, a través de un enlace LAPDm sobre un canal de radio (SDCCH y, eventualmente, FACCH), un enlace de datos LAPD entre BTS/BSC, y una conexión SCCP entre BSC/MSC. En el caso de sesiones de radio para el intercambio de tráfico de usuario (una llamada, un mensaje corto), el subnivel RR también garantiza la disponibilidad de un trayecto de transmisión completo entre la MS y el MSC a través de un canal radio de tráfico (TCH), y circuitos a 16Kbit/s sobre las interfaces Abis y A.

Durante el transcurso de una sesión de radio, el subnivel RR garantiza la continuidad de los trayectos de señalización y voz, incluso si la MS cambia de célula. Los procedimientos de traspaso se encargan de la reconfiguración física de dichos trayectos de manera que la comunicación entre MS y MSC se mantenga.

El procedimiento de traspaso entre MSC se describe en el apartado dedicado a la señalización dentro de la red GSM.

## **2.7 Procedimientos de gestión de movilidad y gestión de comunicación**

El objetivo del subnivel RR es proporcionar un trayecto de señalización (y, sí procede, también de voz) completo entre la MS y el MSC. En el epígrafe anterior se han visto los procedimientos de señalización necesarios para establecer, mantener y liberar los recursos de señalización y transmisión asociados a una sesión de radio. Una vez disponibles dichos recursos, entran en juego los procedimientos de gestión de movilidad (MM) y de gestión de la comunicación (CM).

El subnivel CM de GSM desempeña funciones equivalentes a los sistemas de señalización de abonado en la RTC o, mejor aún, en la RDSI. Básicamente define el intercambio de señalización entre el terminal (MS) y la central (MSC) asociado a los procedimientos de control de llamada y de soporte de servicios suplementarios.

El subnivel MM abarca procedimientos específicos asociados a la movilidad de las MS, necesarios para que la red sepa en todo momento donde se encuentra el terminal. En este subnivel también se incluyen las funciones de autenticación y cifrado.

Los procedimientos MM y CM se definen sobre la base de secuencias de mensajes de señalización intercambiados directamente entre la MS y el MSC. La BTS y el BSC no participan en los diálogos CM y MM, limitándose a transportar los mensajes de señalización transparentemente entre MS y MSC.

En el tramo MS/BTS/BSC, los mensajes MM y CM se transportan a través de los enlaces LAPDm (de la sesión radio) y LAPD. Entre BSC y MSC, se hace uso del protocolo DTAP (Direct Transfer Application Part), sobre conexiones SCCP.

## **Autenticación y cifrado**

Dentro de los procedimientos MM se incluyen los de autenticación y cifrado. El objetivo de dichos procedimientos es evitar el uso fraudulento de terminales y garantizar la privacidad de las comunicaciones [5].

El procedimiento de autenticación permite comprobar si una MS (terminal+SIM) tiene derecho a acceder a una determinada red GSM. Este procedimiento tiene lugar cada vez que la MS intenta acceder a la red, ya sea para efectuar o responder una llamada, enviar o recibir un mensaje corto, activar o desactivar un servicio suplementario, o simplemente para indicar la nueva posición. Cualquiera de estas tareas, exige superar con éxito el procedimiento de autenticación.

El procedimiento de autenticación consiste en la resolución de un acertijo propuesto por el MSC a la MS. El MSC escoge un número aleatorio (NA) de 128 bits y solicita a la MS que lo cifre según un determinado algoritmo (A3) utilizando una clave secreta (Ki) almacenada en el SIM y conocida por la red (centro de autenticación). Si la respuesta (Sres\*) de la MS coincide con la esperada por el MSC (Sres), se permite el acceso de la MS a la red, siendo rechazado en caso contrario.

A esta protección ha de añadirse la comprobación adicional efectuada localmente en la MS, solicitando la marcación del PIN al encender el terminal.

En la figura 2.12 se representan los mensajes intercambiados entre MS y MSC durante el procedimiento de autenticación. Dicho procedimiento tiene lugar cada vez que la MS solicita el acceso a la red, inmediatamente después de enviar el mensaje inicial de petición de servicio (dentro de la trama SABM de apertura del enlace LAPDm sobre el canal SDCCH).

El MSC envía a la MS el mensaje Authentication\_Request con un número aleatorio NA como parámetro. La tarjeta SIM de la MS usa el algoritmo A3 y su clave secreta Ki para calcular la respuesta  $S_{res}^* = A3(K_i, NA)$ , que envía al MSC en un mensaje Authentication\_Response. Si la respuesta  $S_{res}^*$  coincide con la calculada por el AuC ( $S_{res}$ ), el diálogo entre MS y MSC prosigue. En caso contrario, el MSC procedería a abortar la sesión de radio.

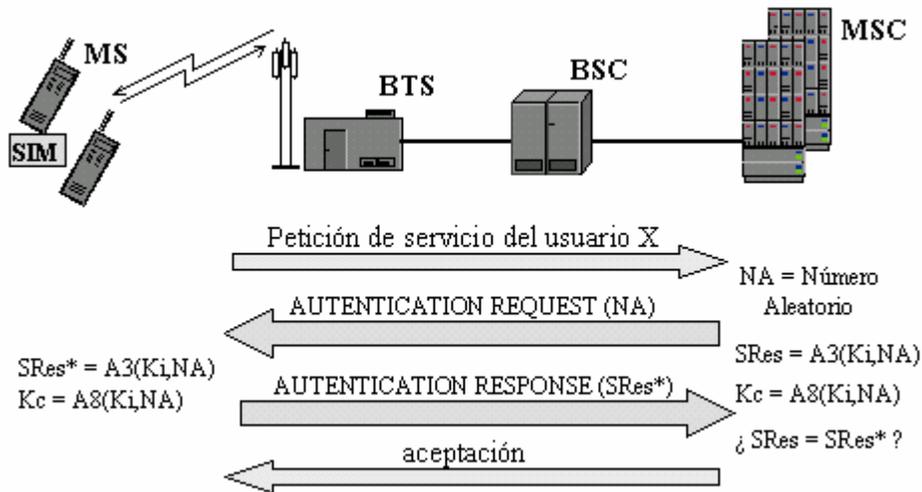


Figura 2.12 Autenticación y cifrado

Además de la autenticación, ambos lados, tarjeta SIM y red, calculan una clave de cifrado  $K_c$  de 64 bits aplicando un segundo algoritmo (A8) sobre la clave  $K_i$  y el número NA, es decir  $K_c = A8(K_i, NA)$ .

A partir de  $K_c$  y del número de cada trama (22 bits) se aplica un tercer algoritmo (A5) que da una secuencia de 114 bits, distinta para cada trama. Para cifrar se hace un XOR de las secuencias anteriores con los bits que se quieren transmitir en cada trama.

Este mecanismo de cifrado se aplica a cualquier intercambio de información subsiguiente entre MS y MSC, tanto sobre el canal SDCCH o TCH/FACCH, con lo que se garantiza la privacidad de las comunicaciones GSM.

Cabe señalar que el cálculo de los valores NA, Sres y Kc no se lleva a cabo realmente en el MSC, sino en el AuC (Authentication Center). El MSC accede al AuC a través del HLR vía procedimientos MAP para la obtención de los tres valores. De esta manera, la información crítica de seguridad (la clave Ki de cada MS y los algoritmos A3 y A8) queda centralizada en los SIMs y en el AuC. De hecho, cada operador puede escoger sus propios algoritmos.

### **Establecimiento/liberación de llamada**

Dentro del subnivel de gestión de comunicaciones se incluyen los procedimientos de control de llamadas (CC), servicios suplementarios (SS) y servicio de mensajes cortos (SMS).

Los procedimientos de CC se desarrollan mediante el protocolo Q.931m, una variante del utilizado en la interfaz de abonado RDSI. En la figura 2.13 se representa el flujo de señalización correspondiente al establecimiento de llamada entre dos abonados móviles. El diagrama muestra los mensajes Q.931m intercambiados entre cada MS y su MSC, así como los mensajes ISUP/SS7 intercambiados entre los MSC.

Como puede comprobarse, el flujo de mensajes de señalización es similar al caso de establecimiento de llamada con envío de dígitos en bloque en RDSI. No obstante, recordemos que en este caso existe un intercambio de señalización previo entre MS y MSC, correspondiente a los subniveles RR y MM.

También cabe señalar el empleo de canales de señalización de radio distintos a lo largo del procedimiento. Pueden darse dos casos: En el primero, los mensajes anteriores al ALERTING (mensaje que marca el momento en que el timbre del usuario llamado empieza a sonar) se envían sobre el canal SDCCH, mientras que el resto de mensajes se envía sobre el canal de tráfico asignado para la conversación, como ráfagas FACCH. En el segundo, denominado establecimiento off-air, la asignación del canal TCH/FACCH se retrasa al momento en que el usuario llamado responde.

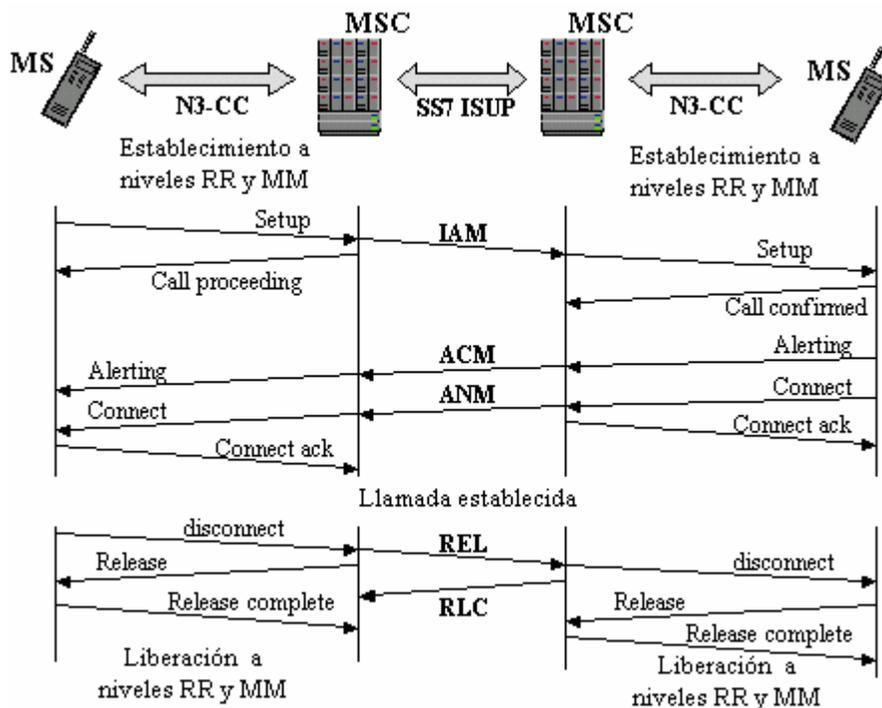


Figura 2.13 Establecimiento y liberación de llamada (nivel 3-CC)

Durante la fase de liberación de llamada entre las MS y los MSC (Q.931m) y entre los MSC (ISUP/SS7). Nuevamente se puede comprobar que el diagrama coincide con los procedimientos de liberación de llamada de RDSI. Una vez completada la liberación de llamada, los MSC proceden a liberar las correspondientes sesiones de radio.

### Servicios suplementarios

Al igual que en RDSI, la invocación o cancelación de servicios suplementarios en GSM puede efectuarse durante el transcurso de una llamada (servicios asociados a llamada) o fuera de ella.

El acceso a los servicios suplementarios puede hacerse mediante la marcación de una combinación en el teclado (ej. \*23#) o mediante la selección de una entrada dentro de un menú. Sea cual sea el método utilizado, el resultado es el envío de señalización sobre la

interfaz de radio. Generalmente, la señalización se transporta sobre elementos de información Facility, dentro de los mensajes CC (ej. SETUP) o del mensaje Facility. Los servicios suplementarios relacionados con llamadas en curso (ej. Envío de información usuario-usuario durante la llamada) son tratados directamente por el nivel 3-CC, el resto (ej. Desvío incondicional) son responsabilidad del nivel 3-SS. Algunos servicios suplementarios tienen asociados mensajes y elementos de información específicos. Éste es el caso de los servicios de señalización usuario-usuario, en los que se emplea el mensaje USER\_INFO, o el servicio de suspensión/reanudación de llamada.

La gestión de los servicios suplementarios se centraliza en el HLR, en donde se almacena la información sobre los servicios a los que está suscrito el abonado y el estado de activación o desactivación de los mismos. La invocación o cancelación de un servicio suplementario origina el intercambio de señalización entre el MSC/VLR y el HLR mediante procedimientos MAP.

La figura 2.14 muestra un ejemplo de procedimiento de servicios suplementarios basado en el empleo de mensajes de señalización específicos. Se trata del servicio de suspensión/reanudación de llamadas, que permite inhibir temporalmente una llamada para retomarla posteriormente.

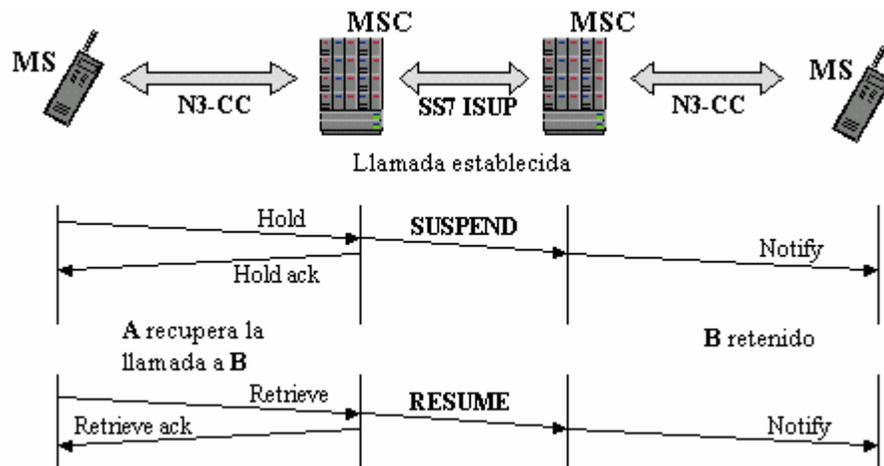


Figura 2.14 Retención de llamada

El ejemplo supone una llamada en curso entre dos abonados A y B. Durante la llamada, el abonado A recibe la indicación de una nueva llamada procedente de un tercer usuario. El abonado llamado decide suspender la comunicación actual (pulsando una cierta combinación de teclas o a través de un menú) para dar paso a la nueva. La MS A envía el mensaje HOLD hacia el MSC visitado. Éste envía el mensaje ISUP SUSPEND hacia el MSC del abonado B, al que se informa de la suspensión de la llamada mediante el mensaje NOTIFY. A continuación, el MSC A confirma al abonado A la operación devolviendo el mensaje HOLD\_ACK.

Posteriormente el abonado A decide recuperar la llamada con B, lo que origina el envío del mensaje RETRIEVE desde la MS A hacia su MSC. Ello da lugar al envío del mensaje ISUP RESUME hacia el MSC del abonado B, al que se comunica la recuperación de la llamada mediante NOTIFY. Por último, el abonado A recibe la confirmación de la operación mediante el mensaje RETRIEVE\_ACK.

### **Servicio de mensajes cortos**

El servicio de mensajes cortos se basa en los procedimientos SMS proporcionados por el subnivel de gestión de comunicación (CM). El servicio SMS permite el envío de mensajes alfanuméricos de hasta 140 octetos (160 caracteres de 7 bits) desde una MS hacia una o más MS destinatarias. La limitación de longitud no es específica de GSM, sino que se debe a la longitud máxima de mensajes que puede transportar la red de señalización número 7.

Además la red puede difundir hacia las MS mensajes cortos con información de interés general (por ej. Estado de carreteras en una zona determinada).

A diferencia de los demás servicios GSM (voz, fax, datos), el servicio SMS no implica el establecimiento de un trayecto de comunicación directo entre la MS origen y destino. El servicio SMS sigue el enfoque tradicional de las redes de conmutación de mensajes, basado

en el empleo de nodos de almacenamiento-reenvío [11], que en GSM reciben el nombre de Centros de Servicios de Mensajes Cortos (SM-SC).

Las especificaciones GSM consideran los SM-SC como elementos ajenos a la red. La comunicación entre la red y los SM-SC se lleva a cabo a través de las pasarelas SMS (SMSG, SMS Gateway).

Cuando una MS solicita el envío de un mensaje corto, la red GSM se limita a encaminar el mensaje hasta el SM-SC adecuado o, mejor dicho, hasta la SMSG adecuada, que será la que haga llegar el mensaje al SM-SC. Desde el punto de vista de GSM, el envío de un mensaje corto finaliza cuando éste se ha entregado a la SMSG. Este procedimiento se considera independiente del mecanismo mediante el que, posteriormente, se lleva a cabo la entrega del mensaje a sus destinatarios.

Los mensajes cortos se almacenan en el SM-SC hasta que éste decide intentar su entrega a las MS destino. El SM-SC se comunica con la pasarela SMSG, que consulta el HLR con objeto de determinar si la MS está activa y, en caso afirmativo, bajo que MSC se encuentra. En caso de éxito, la SMSG procede a reenviar el mensaje hacia el MSC visitado, y éste a la MS (estableciéndose una sesión de radio, sí es necesario), que lo almacena en la tarjeta SIM. Si la MS no es alcanzable, el procedimiento de entrega se suspende hasta un próximo intento. Normalmente, pasado un cierto tiempo el SM-SC descarta los mensajes que no han podido ser entregados.

La figura 2.15 describe de forma simplificada los procedimientos llevados a cabo por el servicio de mensajes cortos.

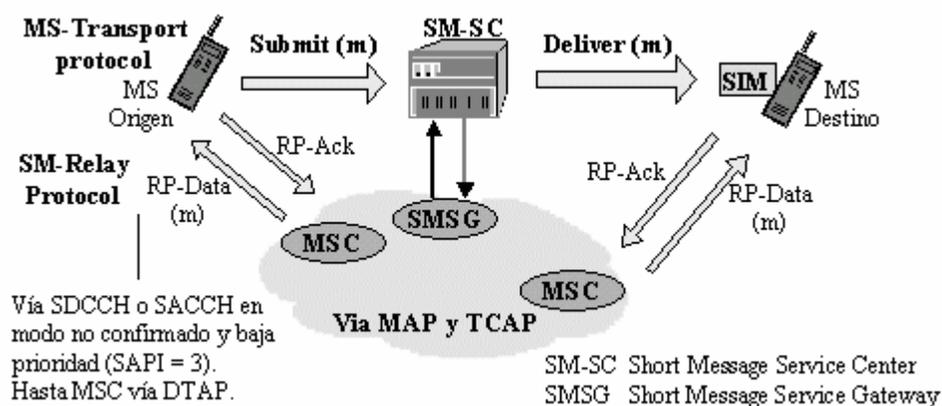


Figura 2.15 Servicio de mensajes cortos

En las especificaciones GSM se distinguen dos protocolos para el soporte del servicio de mensajes cortos: SM-TP y SM-RP.

El Protocolo de Transporte de Mensajes Cortos (SM-TP, Short Message Transport Protocol), define las interacciones básicas de depósito (submit) y entrega (deliver) desarrolladas entre MS y SM-SC.

En el depósito, el usuario genera un mensaje corto indicando el destinatario (MSISDN destino). En principio no hay confirmación de la entrega al destinatario, aunque la red podría hacerla mediante otro mensaje corto enviado al usuario origen. Éste puede también especificar en la operación de depósito un plazo máximo de entrega. Si este plazo expira y el mensaje no ha podido ser entregado al destino, se descarta.

En la operación de entrega, el destinatario recibe el mensaje, la identidad del usuario que lo envió y la hora en que el mensaje fue recibido por el SM-SC. El mensaje recibido se almacena en el SIM hasta que el usuario lo lea.

El Protocolo de Reenvío de Mensaje Corto (SM-RP, Short Message Relay Protocol) especifica cómo se transfieren los mensajes cortos entre MS y MSC, en términos de mensajes de señalización. Los mensajes RP-Data transportan el mensaje corto y la

dirección del SM-SC. Además un número de referencia de mensaje permite asociar los RP-Data con los correspondientes RP-Ack (o, en su caso, RP-Error). El RP-Ack que recibe el lado origen sólo indica que el mensaje ha llegado al SM-SC, no que haya sido entregado al usuario destino.

El envío o recepción de un mensaje por parte de la MS requiere la existencia de una sesión radio. Ésta puede ser una ya abierta, en el caso de que haya una llamada establecida, o bien una nueva establecida explícitamente para el envío del mensaje corto. La transmisión del mensaje se efectúa sobre el canal SACCH o SDCCH, respectivamente, sobre tramas LAPDm con SAPI=3.

Entre BSC y MSC, los mensajes cortos se transportan mediante el protocolo DTAP. Dentro de la red, la comunicación entre MSC y SMSG se lleva a cabo mediante procedimientos MAP sin necesidad de establecer ningún circuito.

## **CAPITULO 3 FUNCIONAMIENTO DE LA RED**

### **3.1 Señalización dentro de la red**

La señalización entre los elementos del subsistema de red (MSC, HLR, VLRs, ...) se basa en el empleo del sistema de señalización SS7. Así, el intercambio de señalización entre MSC (y de éstos con la red fija) para el control de llamadas y el soporte de servicios suplementarios se efectúa mediante procedimientos ISUP, con pequeñas modificaciones. La adopción de ISUP como sistema de señalización de red ha facilitado la reutilización de módulos hardware/software de centrales convencionales en el desarrollo de MSC.

Como ya se ha comentado, las redes GSM requieren flujos de señalización adicionales para el soporte de aspectos relacionados con la movilidad de los terminales, los procedimientos de autenticación y cifrado, el servicio de mensajes cortos, etc. Estas funciones de señalización se soportan mediante la Parte de Aplicaciones Móviles (MAP, Mobile Application Part), un protocolo transaccional específico de GSM definido sobre la Parte de Aplicación de Capacidades de Transacción (TCAP) del SS7.

El protocolo MAP se emplea para el diálogo entre los distintos elementos de la red (MSC, GMSC, HLR, VLRs, EIR, SMSG, ...). Cada diálogo se desarrolla mediante una sucesión de operaciones remotas entre dos o más elementos del subsistema de red.

MAP se apoya en los servicios proporcionados por la Parte de Control de la Conexión de Señalización (SCCP) y la Parte de Transferencia de Mensajes (MTP).

Las interfaces MAP definen el conjunto de operaciones remotas que se pueden desarrollar entre cada par de elementos del Subsistema de Red (NSS). Las interfaces MAP se identifican mediante una letra.

En la figura 1.4 mostrada en el capítulo I se observan claramente la presencia de las interfaces MAP especificados en la fase 2 de GSM, identificados mediante las letras B a F. Así, por ejemplo, la interfaz B define el conjunto de diálogos MAP entre una MSC y su VLR, la interfaz C entre una GMSC y el HLR, etc.

### **Procedimientos MAP**

El repertorio de procedimientos MAP es muy extenso, lo que justifica que su especificación ocupe más de 800 páginas. Ello no es más que consecuencia inmediata de la multitud de situaciones en las que interviene un diálogo MAP.

El protocolo MAP se emplea para los procedimientos de actualización (y cancelación) de posición, desactivación temporal de terminales, autenticación, trasposos entre MSC, gestión de servicios suplementarios, localización de terminales para el ofrecimiento de una llamada, en fin para la comunicación entre conmutadores y registros de información del NSS.

Los procedimientos MAP incluyen funciones de los subniveles de gestión de recursos de radio (RR), gestión de movilidad (MM) y gestión de comunicaciones (CM). Por otro lado, los diálogos MAP pueden desarrollarse fuera del contexto de una llamada (p.e. actualización de posición), durante la fase de establecimiento (p.e. autenticación, consulta de posición para encaminamiento) o incluso durante la conversación (p.e. trasposo entre MSC).

En función del diálogo MAP concreto que se considere, y del contexto particular en el que se desarrolle, se emplean distintos tipos de identificadores de usuario.

## Identificadores de usuario

Durante la ejecución de un diálogo MAP, el usuario puede identificarse de diferentes maneras. Los distintos identificadores de usuario utilizados son:

- IMSI (International Mobile Subscriber Identity): Número asociado a la tarjeta SIM que identifica a un usuario GSM internacionalmente. Su formato (Rec. ITU-T E.212) es similar a un número de teléfono convencional, pero sólo tiene sentido dentro del ámbito de las redes GSM. Consta de un código de país, un código de operador y un número de abonado. La distinción entre IMSI y número de abonado permite la conservación del último en caso de que el abonado cambie de SIM (por pérdida o al contratar una nueva modalidad de servicio). También permite asignar varios números de abonado a un mismo SIM. El IMSI se emplea durante el acceso inicial de la MS a la red, lo que implica que su envío ha de efectuarse sin cifrar. Con objeto de evitar el envío repetido del IMSI en claro, lo que podría dar lugar a que alguien espiera los movimientos del abonado, la especificación sugiere el empleo de identificadores temporales (TMSI) siempre que sea posible.
- TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity): Se trata de un identificador temporal cuya finalidad es minimizar el envío del IMSI en claro sobre la interfaz de radio. Cada vez que el abonado entra en una nueva área de localización (un grupo de células, ver procedimiento de actualización de posición), la red le asigna un TMSI que se almacena en el SIM. La MS utiliza el TMSI en vez del IMSI cuando intenta acceder a la red (siempre y cuando esté dentro del área de localización). A la privacidad que aporta el empleo del TMSI, ha de sumarse su menor tamaño frente al IMSI, lo que se traduce en un menor consumo de recursos de radio. Esto es especialmente importante en los mensajes de aviso.
- MSISDN (Mobile Subscriber ISDN number): Es el número de teléfono que identifica a un abonado GSM ante los demás abonados de redes telefónicas fijas o móviles. El MSISDN es el número que hay que marcar para llamar a un abonado GSM. Se trata pues de un número compatible con el plan telefónico de numeración (Rec. ITU-T E.164).

Un abonado puede contratar varios números MSISDN asociados a su MS. Ello permite, por ejemplo, especificar un número distinto para llamadas de voz, datos o fax.

- IMEI (International Mobile Equipment Identifier): Es un número, internacionalmente único, que identifica al terminal móvil. El IMEI indica el fabricante, país de origen, modelo, y número de serie del terminal.

### **3.2 Actualización de posición**

Con objeto de facilitar el encaminamiento de las llamadas hacia una MS, la red necesita saber si el terminal está activo y, en caso afirmativo, su ubicación exacta. Si no se dispusiera de esta información, la red se vería obligada a enviar un mensaje de aviso (paging) en todas las células, solución que claramente no resultaría práctica, por el elevado volumen de señalización que requeriría [5, 6].

La solución adoptada en GSM se basa en la notificación por parte de la MS de los cambios de posición que esta experimenta. Con objeto de minimizar el trasiego de señalización en la red, dicha notificación no se efectúa célula a célula, sino sólo cuando la MS cambia de área de localización.

Cada área de localización define un conjunto de células dependientes de un mismo MSC. Las BTS transmiten continuamente el Identificador de Área de Localización (LAI) sobre el canal de difusión BCCH. Cuando la MS detecta el cambio de LAI, bien al encender el terminal o bien al desplazarse a otra célula mientras está encendido, notifica el cambio a la red. Esta información permite que, en caso de una llamada dirigida a una MS concreta, la red solo deba efectuar el paging sobre las células del área de localización actual.

Se trata pues de una solución de compromiso entre minimizar el número de células sobre las que efectuar el paging de una MS y el número de veces que la MS ha de notificar a la red el cambio de posición.

Además de lo anterior, existe la posibilidad de hacer actualizaciones de posición periódicas. Esto facilita la recuperación ante fallos de los registros de información. Si vence el plazo fijado y un móvil no ha repetido el procedimiento de actualización, el móvil se borra del VLR.

El procedimiento de actualización de posición difiere en función de si implica o no cambio de VLR.

### Actualización de posición en el mismo VLR

En la figura 3.1 se ilustra el procedimiento de actualización de posición dentro de un mismo VLR.

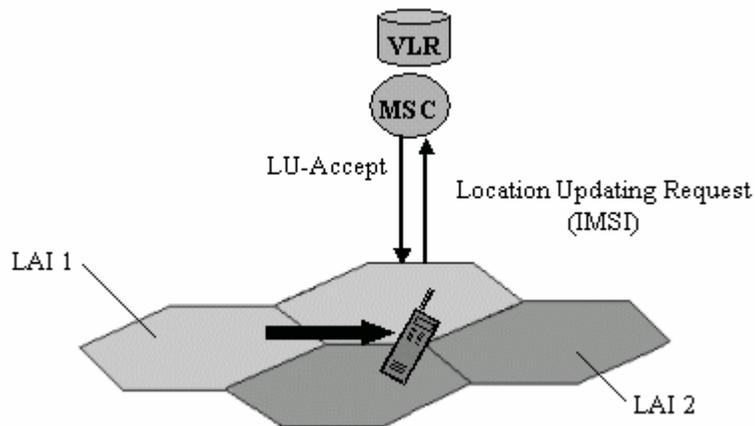


Figura 3.1 Actualización de posición en el mismo VLR

Una MS activa (suponemos sin llamadas) monitorea continuamente las señales que recibe de las células vecinas. Al observar una portadora de difusión con mayor potencia que la actual, decide cambiar de célula. Tras efectuar el cambio, la MS detecta que el LAI ha variado, por lo que lanza el procedimiento de actualización de posición. (El procedimiento es aplicable también cuando se enciende la MS y se detecta que el LAI ha cambiado).

La MS inicia una sesión RR enviando hacia el MSC el mensaje Location Updating Request sobre el canal SDCCH asignado. El mensaje, enviado en claro por ser el inicial, contiene el

TMSI reservado en la anterior área de localización (o el IMSI, si la actualización se debe al encendido del terminal).

El MSC consulta su VLR (vía MAP o, más frecuentemente, mediante una interfaz propietaria), el cual detecta que la MS ya está registrada. El VLR actualiza el registro de la MS con el nuevo LAI, y asigna un TMSI libre. Hecho esto, devuelve el control al MSC, que envía el mensaje Location Updating Accept (con el nuevo TMSI) hacia la MS confirmando que se ha completado la actualización de posición.

### Actualización de posición con cambio de VLR

En la figura 3.2 se ilustra el procedimiento de actualización de posición con cambio de VLR. Como en el anterior caso, la MS lanza el procedimiento de actualización de posición enviando el mensaje Location Updating Request. Esta vez, sin embargo, el área de localización resulta pertenecer a otro MSC, por lo que al consultar el VLR, la MS no aparece y se crea una nueva entrada para ella. Al mismo tiempo, se establece un diálogo MAP entre el nuevo VLR y el HLR, a fin de informar a éste que la MS pasa a depender de otro MSC.

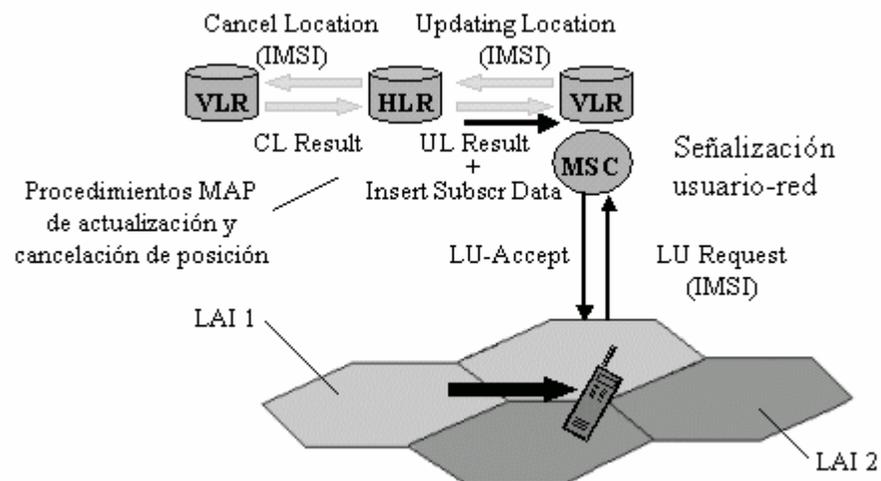


Figura 3.2 Actualización de posición con cambio de VLR

El diálogo entre el nuevo VLR y el HLR comienza con el envío hacia éste del mensaje Update\_Location. Esto hace que el HLR proceda a actualizar el registro de la MS anotando cual es el nuevo VLR visitado. La actualización se confirma mediante el mensaje Update\_Location\_Result. Opcionalmente, el HLR puede suministrar al nuevo VLR información sobre el perfil de suscripción del abonado (p.e. servicios suplementarios activos) enviando el mensaje Insert Subscriber Data.

El procedimiento se completa mediante otro diálogo MAP entre el HLR y el VLR antiguo. El HLR envía la orden Cancel\_Location hacia el VLR solicitando que se borre la entrada de la MS. El VLR antiguo confirma el resultado de la operación devolviendo hacia el HLR el mensaje Cancel\_Location\_Result.

### **Área de localización y TMSI**

Los identificadores temporales TMSI son solo válidos dentro del área de localización en el que han sido asignados. En otras palabras, el TMSI identifica a una MS unívocamente dentro de un área de localización. En consecuencia, si el abonado pasa a una nueva área de localización, el TMSI que tenía reservado en la antigua pierde su validez, siendo necesario la asignación de uno nuevo.

Los procedimientos de actualización de posición contemplan varias estrategias de reasignación de TMSI al cambiar de área de localización. Por un lado, la asignación puede ir directamente en la respuesta Location\_Updating\_Accept, o bien en el mensaje específico subsiguiente TMSI\_Reallocation. Por otro lado, existe la posibilidad de que en el mensaje Location\_Updating\_Request, la MS se identifique mediante su IMSI o mediante la combinación TMSI+LAI del anterior área de localización. En el caso de que la actualización de posición se deba al encendido de la MS, solo es posible la primera alternativa. En los demás casos, ambos métodos son aceptables, si bien es preferible el envío del TMSI+LAI por razones de privacidad.

En el caso de una actualización de posición con cambio de VLR, si la MS se identifica mediante TMSI+LAI, hace falta un diálogo MAP adicional entre ambos VLRs. Este diálogo tiene como finalidad solicitar al VLR antiguo el IMSI correspondiente a la combinación TMSI+LAI, puesto que ésta no tiene significado para el nuevo VLR.

### Actualización de posición usando el TMSI

En la figura 3.3 se representa el diálogo MAP entre VLRs durante el procedimiento de actualización de posición con cambio de VLR, en el caso que la MS se identifica mediante la combinación LAI+TMSI.

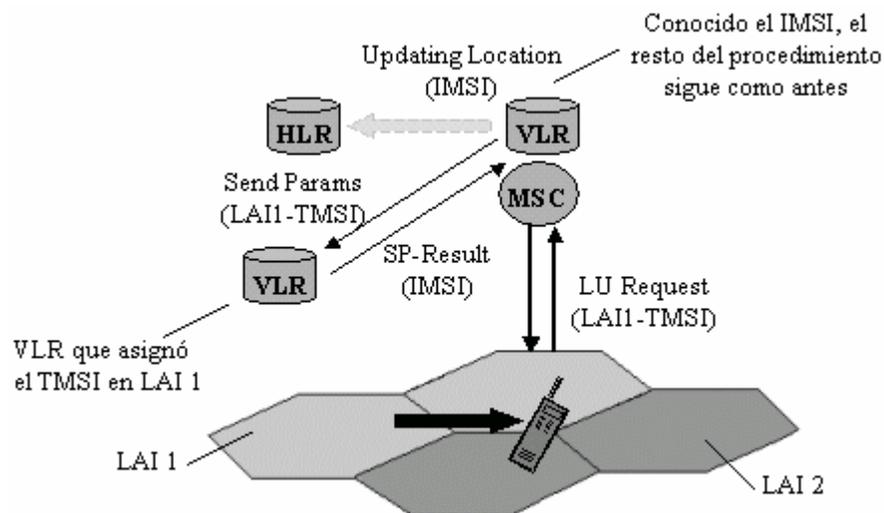


Figura 3.3 Actualización de posición usando el TMSI

En este caso, el mensaje inicial enviado sobre la nueva célula, *Location\_Update\_Request*, contiene los parámetros LAI1 y TMSI del VLR antiguo. El nuevo VLR no puede hacer uso directo de esta información puesto que no le permite determinar la identidad de la MS. En consecuencia, lanza una consulta hacia el VLR antiguo a través del mensaje *Send\_Parameters*, en el que se incluyen como parámetros el LAI y el TMSI. A partir de dichos parámetros, el VLR antiguo busca el registro de la MS y recupera el IMSI, enviándolo hacia el nuevo VLR dentro del mensaje *Send\_Parameters\_Result*. A partir de

este momento, el procedimiento de localización prosigue exactamente igual que si la MS hubiera enviado el IMSI (ver figura anterior).

### **Desactivación temporal**

Salvo en situaciones excepcionales (p.e. agotamiento súbito de la batería, pérdida de señal), la desconexión de una MS va precedida de la notificación a la red de su paso a estado inactivo. Lo que señala en realidad esta notificación es la desactivación del SIM. Normalmente, dicha desactivación se produce al apagar el terminal. En teoría, sin embargo, el procedimiento también se aplica si se extrae el SIM mientras el terminal está activo [7]. El procedimiento de desactivación temporal tiene como objetivo el ahorro de recursos de señalización y transmisión en el caso de que se produzca una llamada dirigida hacia la MS. En particular, se evita el envío de mensajes de aviso sobre los canales de radio PCH.

La desactivación temporal se reduce al envío del mensaje IMSI\_Detach desde la MS hacia el MSC visitado. Ello hace que se inserte un flag en el registro VLR indicando que la MS no está alcanzable, rechazándose a partir de ese momento cualquier llamada dirigida al terminal.

Podría considerarse también la posibilidad de notificar la desactivación al HLR, eliminando el registro de la MS almacenado en el VLR visitado. Esta alternativa, sin embargo, no se contempla en las especificaciones GSM.

Al reactivar la MS, se ejecuta el procedimiento de actualización de posición, de manera que la MS vuelve a considerarse alcanzable.

### **3.3 Establecimiento de llamada con consideraciones de encaminamiento**

El protocolo MAP se emplea también durante el establecimiento de llamadas hacia usuarios GSM. A diferencia de lo que sucede en las redes fijas, en donde el número del abonado

llamado indica la central destino, en GSM no es posible el encaminamiento directo mediante el análisis del MSISDN ya que éste solo indica a qué red pertenece (país, operador, HLR).

Debido a la movilidad, la central MSC bajo la que se encuentra el abonado llamado va a depender de la ubicación actual de la MS dentro de la red. En consecuencia, el encaminamiento de una llamada hacia una MS requiere la determinación previa del MSC visitado, información que se almacena en el HLR cada vez que el móvil se registra bajo un MSC/VLR.

Así, el establecimiento de una llamada a una MS va precedido de una consulta al HLR desde una central pasarela MSC (GMSC), a fin de determinar el MSC visitado. La consulta se realiza mediante el protocolo MAP.

La consulta intermedia al HLR, determina que el encaminamiento de llamadas hacia una MS se efectúe en dos pasos. El primero se encarga de completar el trayecto entre la MS llamante (o usuario de la red fija) y el GMSC. El segundo cubre el tramo desde la GMSC hasta la MS llamada, y va precedido de la consulta al HLR para determinar el MSC visitado.

Una vez que el GMSC conoce el MSC bajo el que se encuentra la MS llamada, se plantea el problema de cómo encaminar la llamada hasta dicha central (posiblemente a través de una o más MSC de tránsito). En las redes fijas, el encaminamiento se resuelve mediante el análisis del número marcado. Desafortunadamente, este criterio no es directamente aplicable en GSM puesto que el número de abonado MSISDN no contiene información de encaminamiento. La solución al problema consiste en la utilización de números de itinerancia (MSRN, Mobile Station Roaming Number).

El MSRN es un número de abonado (con formato E.164), que se asigna temporalmente a las MS durante la llamada. El MSRN identifica el MSC visitado, por lo que una vez

conocido se pueden aplicar los mecanismos habituales de encaminamiento (análisis de dígitos) y señalización entre centrales (ISUP) utilizados en las redes fijas.

### Encaminamiento hacia un móvil

La figura 3.4 representa el procedimiento de establecimiento de llamada de un abonado fijo a uno móvil. Entre la red fija y el GMSC, se aplican los procedimientos ISUP convencionales, estableciéndose un circuito entre el terminal llamante y la pasarela.

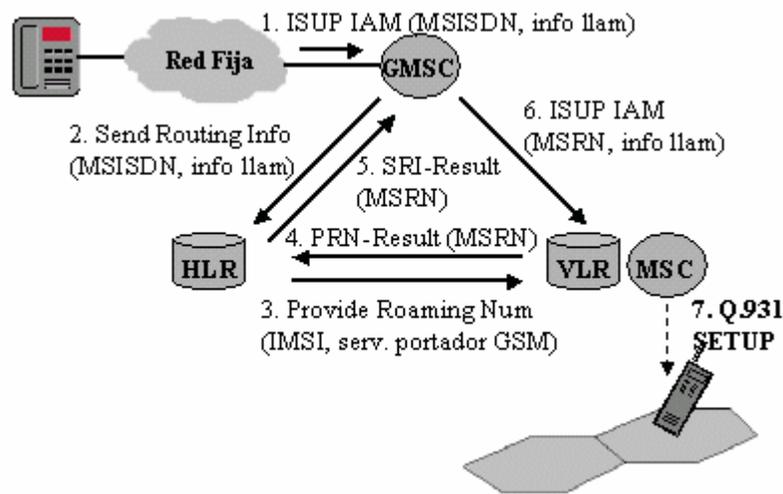


Figura 3.4 Encaminamiento hacia un móvil

Una vez que se alcanza la central GMSC, se lanza una consulta al HLR mediante el mensaje Send Routing Info, en el que se indica el MSISDN del abonado llamado. El HLR entabla contacto con el VLR visitado solicitando un número de itinerancia MSRN mediante el mensaje Provide Roaming Number con el IMSI como parámetro. El VLR comprueba que la MS esté activa y le asigna un MSRN libre, que devuelve al HLR dentro del mensaje Provide Roaming Number Result. A continuación, el HLR envía la respuesta Send Routing Info Result hacia el GMSC, en la que se incluye el MSRN a utilizar para encaminar la llamada hasta el VLR visitado.

Utilizando el MSRN asignado como si del número llamado se tratara, el GMSC procede a establecer un circuito hasta el MSC visitado, mediante procedimientos ISUP convencionales. La recepción del mensaje inicial de dirección (IAM) en el MSC destino hace que éste consulte su VLR a fin de determinar el IMSI al que se ha asignado temporalmente ese MSRN. Una vez conocido el IMSI y, por tanto, el LAI, el MSC procede a efectuar el aviso sobre los canales PCH correspondientes. La MS responderá iniciando una sesión de radio, dando lugar a la asignación de un canal SDCCH sobre el que el MSC enviará el mensaje de establecimiento Q.931m.

Los parámetros de información de llamada y servicio portador GSM indicados en la figura definen el tipo de comunicación (ej. voz o fax) que se quiere establecer. Si el parámetro de información de llamada no está disponible en el mensaje que llega al GMSC (ej. porque la llamada proviene de la red telefónica), el tipo de llamada puede deducirse del número llamado. Para ello se asignan varios MSISDN al mismo usuario, por ejemplo uno para llamadas de voz y otro para fax. El HLR tendrá almacenado los MSISDN del usuario y el tipo de llamada a que corresponde cada uno.

### **Aspectos de tarificación de llamada**

La tarificación de llamadas en redes móviles plantea ciertas dificultades con respecto a los esquemas clásicos utilizados en telefonía convencional. En las redes fijas, la ubicación del abonado llamado (salvo que entren en juego desvíos de llamada) está implícita en el número de teléfono, lo que permite al llamante determinar el coste de la llamada. En GSM, sin embargo, el simple conocimiento del número de abonado no indica dónde se halla. Incluso, mediante los acuerdos de itinerancia entre operadores, es posible que el abonado se encuentre en el extranjero. En consecuencia, el esquema de tarificación tradicional en el que el coste de la llamada corre a cargo del llamante, y que depende de dónde se halle su interlocutor, no resulta directamente aplicable.

La solución utilizada por los operadores móviles parte de la consideración de dos tramos de llamada: de llamante a GMSC, y de GMSC a llamado. En el caso de llamadas dentro de un mismo país, con independencia de la distancia entre ambos interlocutores, ambos tramos de tarificación se repercuten al abonado llamante. En el caso de llamadas internacionales, lo habitual es que el llamante pague el tramo hasta la GMSC, corriendo a cargo del llamado el tramo internacional desde la GMSC de su red hasta su posición actual. De esta manera, se consigue que el llamante pague lo mismo con independencia de dónde se encuentre el abonado llamado, al mismo tiempo que se evitan sorpresas económicas debidas a que el llamado está fuera de su país. En este caso, es el llamado el que corre con los gastos de viaje.

Resumiendo, si la llamada es nacional, el importe corre siempre a cargo del llamante, tanto si la llamada es de fijo a móvil, de móvil a fijo o entre móviles. En este último caso, el coste suele ser menor si los dos abonados pertenecen a la misma red.

Si la llamada es internacional y el móvil llamado está dentro de su red, el coste total recae como antes en el llamante.

El caso de una llamada a un abonado móvil en itinerancia: el llamante paga el coste del trayecto hasta la red origen del llamado, que supondremos sea un trayecto internacional, y el llamado paga el segundo tramo internacional. (Si la llamada fuera en sentido contrario, el móvil llamante correría con todos los gastos).

Si un abonado móvil se desplaza a otro país (de Italia a Francia) y recibe una llamada de un abonado francés, aplicando el criterio anterior, cada abonado corre con los costes de un tramo internacional a pesar de que ambos podrían estar en la misma habitación.

Si consideramos ahora la llamada en sentido contrario, es decir, desde un usuario móvil italiano que está en Francia hacia un usuario francés, el llamante pagaría el coste de una llamada nacional más una tasa adicional por itinerancia al operador de su red móvil en Italia.

La fase 2+ de GSM, soluciona el problema del pago innecesario de dos tramos internacionales en algunos casos, por ejemplo: llamada de un usuario móvil a otro de su misma red cuando ambos están de viaje en el mismo país, llamada a un móvil del país A que está de viaje en otro país B pero que ha desviado sus llamadas entrantes de vuelta a un número en el país A.

### **3.4 Traspaso de llamadas entre MSC**

El protocolo MAP se utiliza también en los procedimientos de traspaso cuando al cambiar de célula, la MS pasa a depender de un nuevo MSC. El MSC original en el que se inicia la llamada, denominado MSC ancla (anchor MSC), permanece siempre como responsable último del control de la llamada, incluso si los traspasos entre MSC se suceden.

Al traspasarse una llamada desde el MSC ancla (A) a otro MSC (B), este último actúa bajo las órdenes del primero. El MSC-B participa en la llamada hasta que el MSC-A le indica que su papel ha terminado, bien porque la llamada haya finalizado o como consecuencia de un nuevo traspaso (al MSC-A o a un tercero).

Así, si se determina la necesidad de efectuar un nuevo traspaso a un tercer MSC, el MSC-A ordena al MSC-B antiguo que abandone, dando paso en su lugar al nuevo MSC-B. Si el traspaso implica la vuelta al MSC-A, el papel de MSC-B desaparece, volviéndose al escenario normal de llamada en el que ambas MS dependen del mismo MSC.

#### **Traspaso simple**

La figura 3.5 representa el intercambio de señalización durante un traspaso simple entre el MSC ancla (A) y el nuevo MSC (B) en cuya zona de cobertura ha entrado la MS.

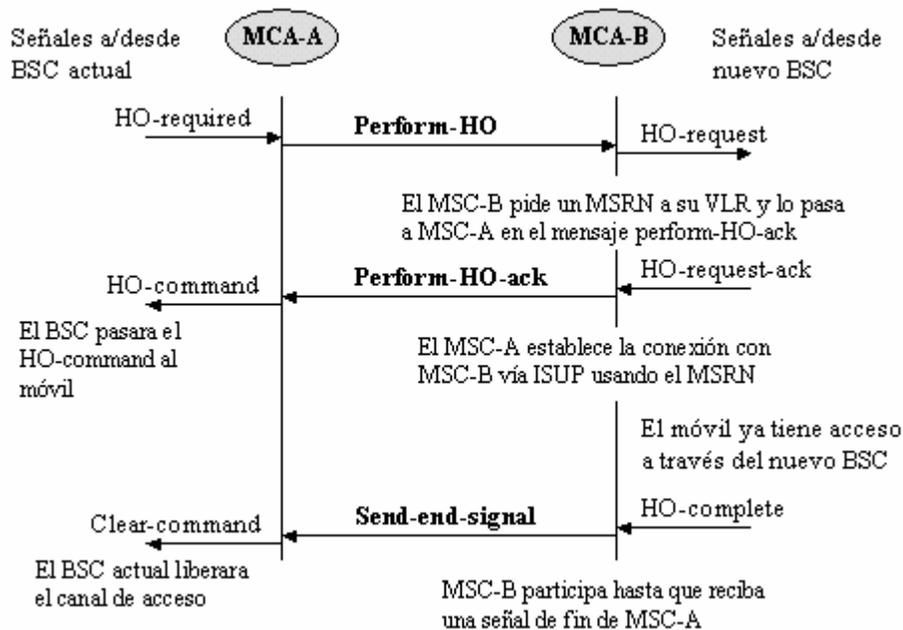


Figura 3.5 Traspaso simple

Como en todo traspaso, la decisión la toma el BSC origen, a partir de las medidas que periódicamente le envía la MS. El BSC decide el traspaso a una célula que no está bajo su control, por lo que envía el mensaje HO-required (protocolo BSSAP) al MSC-A. Al analizar el mensaje, el MSC-A comprueba que la nueva célula pertenece al MSC-B, dando lugar a un diálogo MAP entre ambos.

El diálogo entre MSC comienza con el envío de la orden perform\_HO hacia el MSC-B. Su recepción desencadena el envío del mensaje HO\_request hacia el nuevo BSC, dando lugar a la activación de un canal de tráfico en la BTS adecuada. En la respuesta HO\_request\_ack, el BSC informa al MSC-B del canal radio reservado.

Como se ha indicado, en los traspasos entre MSC, el MSC ancla retiene el control de la llamada. Esto conlleva a la necesidad de establecer un trayecto de voz entre los dos MSC involucrados en el traspaso. Es por ello que en el mensaje de respuesta perform\_HO\_ack, el MSC-A recibe no solo información del nuevo canal de radio asignado, sino también un número de itinerancia MSRN obtenido mediante la consulta del MSC-B a su VLR. El

MSC-A procede entonces a establecer el circuito mediante señalización ISUP utilizando el MSRN suministrado.

Una vez completado el trayecto de voz entre centrales, el MSC-A ordena al BSC origen que se proceda a completar el traspaso mediante el mensaje HO\_command, que se retransmite hasta alcanzar la MS. Ésta accede a la nueva célula en el canal especificado, lo que da lugar al envío del mensaje HO\_complete desde el nuevo BSC hacia el MSC-B, y del mensaje send\_end\_signal desde éste hacia el MSC-A.

La recepción del mensaje send\_end\_signal en el MSC-A hace que a partir de ese instante el tráfico de usuario se conmute sobre el circuito MSC-A/MSC-B. Al mismo tiempo, el MSC-A indica al BSC origen que libere los recursos de radio de la célula antigua.

Al finalizar la llamada, o en el caso de un nuevo traspaso con cambio de MSC, El MSC-A procederá a enviar al MSC-B la señal de fin (end\_signal) y liberar el trayecto de voz entre ambas centrales.

### **Traspaso subsiguiente**

El diagrama de la figura 3.6 muestra el intercambio de señalización durante un segundo traspaso entre MSC. La decisión del traspaso la toma, como siempre, el BSC del que depende actualmente la MS. El BSC informa a su MSC-B que actúa como subordinada del MSC ancla (MSC-A) debido a un traspaso anterior.

El MSC-B detecta que el traspaso solicitado implica un cambio de MSC (a MSC-B'), notificándose al MSC-A, mediante el mensaje perform\_subsequent\_HO. El MSC-A establece contacto con el nuevo MSC-B' enviándole la orden perform\_HO. Tras reservarse el correspondiente canal de radio y asignarse un MSRN libre, el MSC-B' responde con perform\_HO\_ack.

El MSC-A confirma al MSC-B que el traspaso puede iniciarse mediante el mensaje `perform_subsequent_HO_ack`. Tras establecerse un nuevo circuito entre MSC\_A y MSC-B', se procede a completar el traspaso. Una vez completado, el MSC-A recibe el mensaje `send_end_signal` del MSC-B'.

La recepción del mensaje `send_end_signal` desde el nuevo MSC-B', origina el envío del mensaje `end_signal` hacia el MSC-B. Acto seguido, se procede a liberar el circuito de voz entre MSC-A y MSC-B, así como los recursos de transmisión fijos y de radio del tramo MSC-B/MS de la antigua célula.

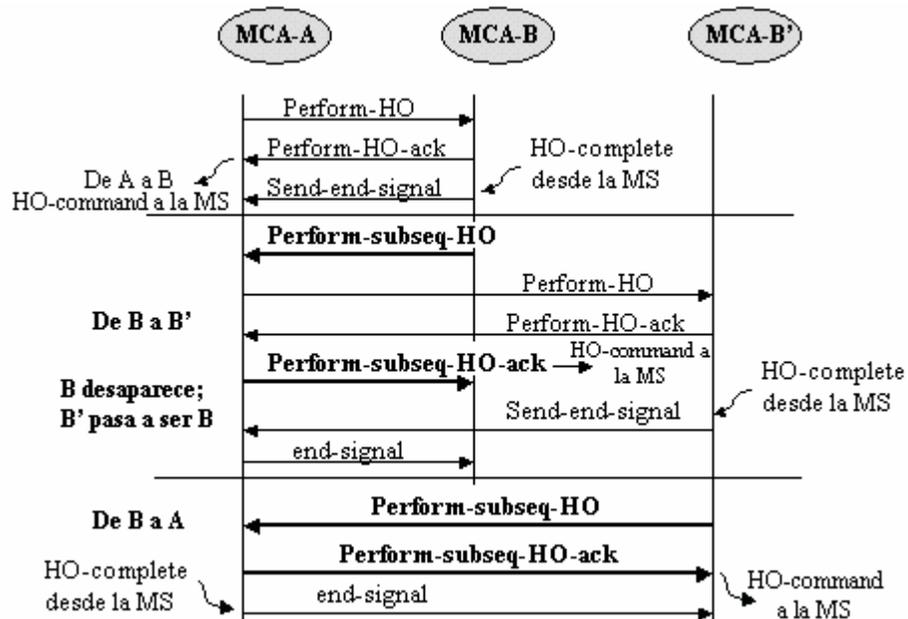


Figura 3.6 Traspaso subsiguiente

En la parte inferior del diagrama se representa el intercambio de mensajes MAP correspondiente a un nuevo traspaso desde el MSC-B' al MSC-A, esto es, al MSC original de la llamada. Al recibir la indicación `perform_subsequent_HO`, el MSC-A comprueba que la nueva célula está bajo su responsabilidad, reservándose los recursos necesarios internamente. Tras notificar al MSC-B' que puede efectuarse el traspaso mediante el mensaje `perform_susequent_HO_ack`, la MS accederá a la nueva célula y se completará el traspaso. Una vez establecida la comunicación sobre el nuevo trayecto, el MSC-A envía el

mensaje end\_signal al MSC-B', liberándose los recursos de transmisión fijos y de radio del tramo de llamada antiguo.

### **Resumen de traspasos**

En este epígrafe se ha mostrado el papel del MSC ancla (MSC-A) y de uno o varios MSC subordinados (MSC-B, MSC-B', ...) en el curso de una sesión RR. Vemos como el MSC que controla la llamada desde el principio (MSC-A) sigue procesando los mensajes de nivel CM y MM procedentes del móvil, el MSC-B solo hace de intermediario. La sesión RR se extiende del MSC-B al MSC-A vía MAP, sobre TACP y SCCP.

Nótese que el MSC-B controla directamente los traspasos entre BSC que están bajo su responsabilidad sin intervención del MSC-A. Opcionalmente el MSC-A puede ser informado de estos traspasos en el ámbito del MSC-B por medio de un mensaje note\_internal\_HO procedente de MSC-B.

## **3.5 Otros procedimientos**

### **Gestión de información de usuario entre HLR y VLR**

El protocolo MAP se usa para gestionar el intercambio de información entre el HLR y los VLR durante los procedimientos de actualización de posición, de autenticación, así como en las consultas durante el establecimiento de llamadas hacia un móvil. Este procedimiento aparece claramente representado en la figura 3.7.

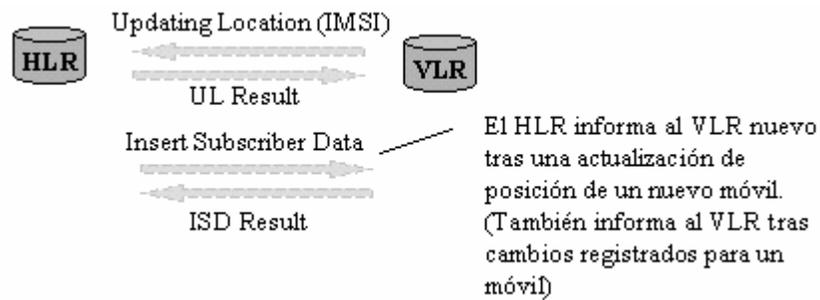
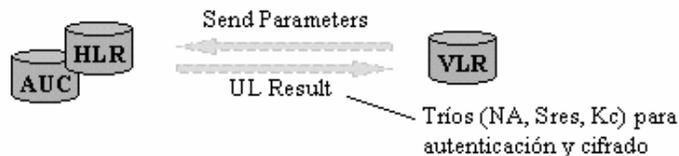


Figura 3.7 Gestión de la información de usuario entre HLR y VLR

Así, por ejemplo, en una actualización de posición con cambio de VLR, el nuevo VLR se comunica con el HLR a fin de que éste tome nota de la nueva ubicación de la MS. El HLR, por su parte, proporciona al nuevo VLR información acerca del perfil de suscripción del abonado (p.e. los servicios suplementarios activos o tríos de valores NA, Sres, Kc para autenticación y cifrado), enviándola dentro del mensaje Insert Subscriber Data. También existe, como vimos, un diálogo entre el HLR y el VLR antiguo a fin de que éste borre la entrada correspondiente a la MS.

Otro diálogo MAP entre registros es el que tiene lugar durante el procedimiento de autenticación entre el VLR visitado y el HLR, así como entre éste y el AuC (representado en la figura 3.8). Recordemos que en dicho procedimiento, el cálculo de los valores NA, Sres y Kc se lleva a cabo en el AuC. Éste le suministra los parámetros al HLR, que a su vez los hace llegar al VLR mediante el mensaje Send\_Parameters\_Result.

- Petición de info de VLR a HLR/AuC para autenticación



- Petición de info de HLR a VLR para encaminamiento a móvil

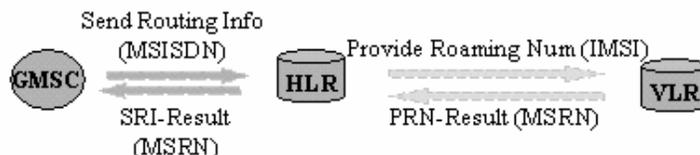


Figura 3.8 Gestión de información de usuario

Los registros HLR y VLR también se intercambian información durante el establecimiento de llamadas hacia un móvil, tal como se ha descrito anteriormente. La pasarela GMSC lanza una consulta `Send_Routing_Info` sobre el HLR para obtener información de encaminamiento. El parámetro de entrada es el número de abonado (MSISDN), que en el contexto de GSM no proporciona información de encaminamiento hasta la central destino. Sin embargo, debido al procedimiento de actualización de posición, el HLR sabe en qué central se encuentra la MS, y ésta a su vez el área de localización sobre la que difundir el aviso de llamada. A través del protocolo MAP, el HLR solicita al VLR un número de itinerancia MSRN mediante el mensaje `Provide_Roaming_Number`, utilizando como clave de identificación de abonado el IMSI.

La respuesta del VLR, `Provide_Roaming_Number_Result`, contiene el MSRN, que el HLR hace llegar a la GMSC mediante el mensaje `Send_Routig_Info_Result`. El MSRN identifica el MSC visitada, lo que permite a la GMSC proceder a encaminar la llamada.

### **Gestión de servicios suplementarios**

El protocolo MAP se emplea también para la gestión de servicios suplementarios. El HLR almacena, junto con el resto de la información administrativa del usuario (MSISDN, IMSI, ...), la información necesaria para la gestión de los servicios suplementarios. Esta información incluye la relación de servicios suplementarios a los que el abonado tiene acceso, las restricciones aplicables, los servicios que el usuario tiene actualmente activados, etc.

La gestión de servicios suplementarios requiere el intercambio de mensajes entre el VLR visitado y el HLR. Estos mensajes se intercambian mediante el protocolo MAP. Así, existen mensajes asociados a la activación o desactivación de servicios, la interrogación acerca del estado actual, etc.

## **Uso de MAP para servicio de mensajes cortos**

El servicio de mensajes cortos (SMS) usa el protocolo MAP para la comunicación hacia o desde la SMSG [11].

El procedimiento de depósito del mensaje corto (Submit) se inicia con el envío de la orden RP-Data desde la MS origen del mensaje (m) hacia el MSC visitado. Éste reenvía el mensaje corto hacia la pasarela SMSG, mediante la orden MAP Forward Short Message (m).

La SMSG entrega el mensaje al centro de mensajes cortos SM-SC. La entrega se confirma al MSC con el mensaje MAP Forward Ack. A su vez el MSC envía el mensaje de asentimiento RP-Ack al usuario origen.

Nótese que en la figura 3.9 sólo se indica como parámetro de los mensajes anteriores el texto del mensaje corto m. El resto de parámetros que llevan estos mensajes, por ej. la dirección del destinatario, no se ha representado.

El mensaje se almacenará en el SM-SC hasta que éste decida lanzar el procedimiento de entrega (Deliver) mostrado en la figura 3.10.

El procedimiento de entrega (Deliver) de un mensaje corto almacenado en el centro SM-SC, se desencadena mediante su envío a la pasarela SMSG. Ésta lanza una consulta sobre el HLR de la MS destino, mediante la orden MAP Send Routing Info (MSISDN) a fin de determinar en qué central visitante se encuentra. El HLR devuelve la dirección SS7 del MSC destino mediante la respuesta MAP Send\_Routnig\_Info\_Result.

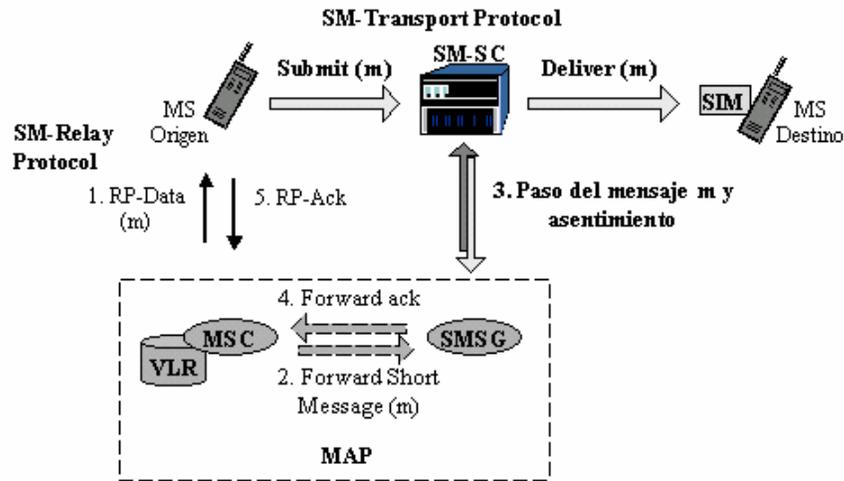


Figura 3.9 Uso de MAP para SMS (depósito)

Una vez que la pasarela dispone de la información de encaminamiento, se procede al envío del mensaje corto hacia la central destino mediante la orden MAP Forward Short Message (m). La central consulta su VLR y envía un mensaje de búsqueda (paging) sobre el correspondiente canal PCH. El móvil responde solicitando un canal SDCCCH sobre el que se produce la entrega del mensaje mediante la orden RP-Data(m). El mensaje se graba en la memoria de la tarjeta SIM de la MS, que confirma su recepción enviando la respuesta RP-Ack hacia al MSC. Éste a su vez confirma la entrega a la pasarela mediante la respuesta MAP Forward ACK y, finalmente, el SM-SC recibe la indicación de entrega con éxito.

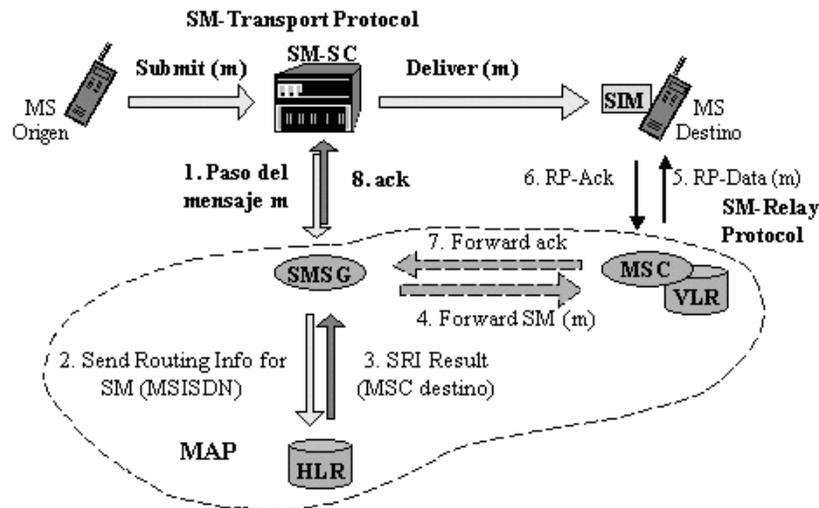


Figura 3.10 Uso de MAP para SMS (entrega)

Si el SM-SC tuviera mas mensajes para el mismo destinatario pueden enviarse sin necesidad de repetir los pasos 2 y 3.

Cuando la entrega del mensaje a la MS destino falla, la central visitada anota el fallo e informa a la pasarela SMSG del problema mediante la instrucción MAP Forward Error, como respuesta a la petición de efectuar la entrega Forward Short Message (m) enviada previamente por la pasarela. Ver figura 3.11.

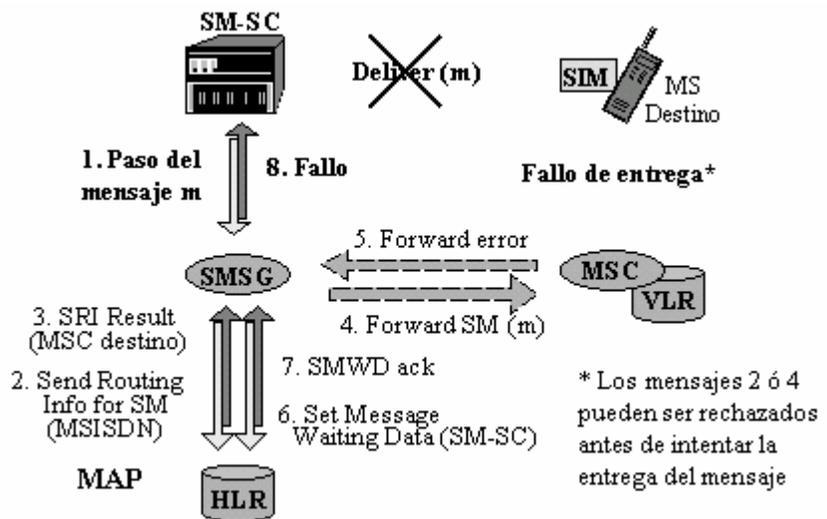


Figura 3.11 Uso de MAP para SMS (Fallo en la entrega)

Al recibir la indicación de error, la pasarela informa al HLR del destinatario sobre la existencia de un mensaje pendiente de entrega en el SM-SC mediante la orden MAP Set Message Waiting Data, cuya recepción en el HLR se confirma enviando la respuesta MAP Set Message Waiting Data Ack. Además, la pasarela avisa del fallo de entrega al SM-SC para que éste mantenga almacenado el mensaje.

El HLR anota que ese SM-SC tiene un mensaje pendiente para el usuario destino. En general puede haber más de un SM-SC con mensajes pendientes. El HLR mantiene una lista para poder avisar posteriormente a las correspondientes pasarelas SMSG.

Cuando se pueda reintentar la entrega, por ejemplo, como consecuencia de la reactivación de la MS y la consiguiente actualización de posición, el VLR avisa al HLR, éste pasa el aviso a las pasarelas implicadas y éstas a los SM-SC.

Tras el primer fallo de entrega anotado en el HLR para un destinatario dado, el HLR rechazaría mensajes posteriores Send Routing Info for SM para ese destinatario, indicando directamente al SMSG que el mensaje no se puede entregar.

Un tercer caso tiene lugar cuando un móvil se desactiva temporalmente enviando el mensaje IMSI Detach a su MSC/VLR. Como el HLR no es informado de esta situación, el mensaje corto llegaría hasta el MSC en un Forward Short Message que sería directamente rechazado por el MSC con un Forward Error. Una vez informado por el SMSG de este rechazo, el HLR puede rechazar directamente otros mensajes como en el caso anterior.

Tras el procedimiento de actualización de posición de una MS para la que el MSC/VLR tiene anotado un fallo de entrega, el MSC informa al HLR de que el usuario está disponible mediante la instrucción MAP Note MS Present (ver figura 3.12). El HLR envía la orden MAP Alert Service Center a la pasarela SMSG, quien comunica al SM-SC la posibilidad de entregar a la MS los posibles mensajes pendientes. A partir de este punto, se reintenta el procedimiento de entrega descrito anteriormente. Como se ha dicho, en el caso más general, el HLR avisaría a todas las SMSG cuyos SM-SC tienen mensajes pendientes para esa MS.

Si la MS actualiza su posición en un MSC/VLR distinto al que tiene anotado el fallo, cuando el nuevo MSC/VLR avisa al HLR de que ha registrado la MS visitante, el HLR avisa directamente a la(s) SMSG que sea necesario.

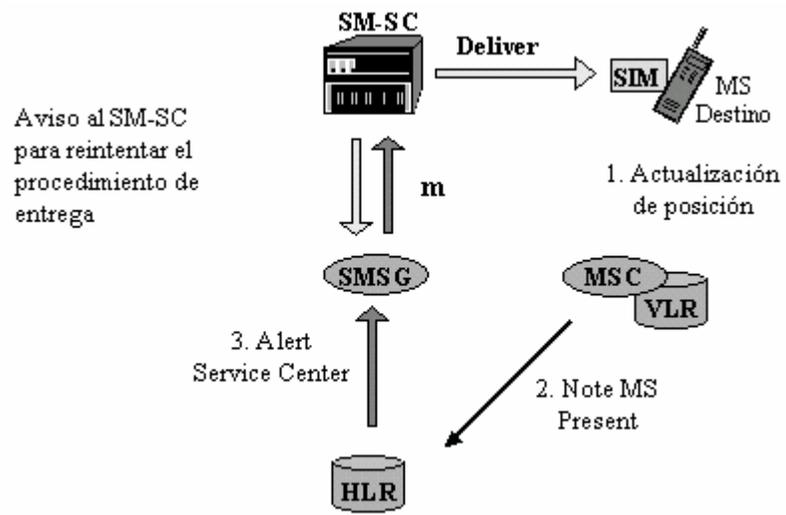


Figura 3.12 Uso de MAP para SMS (Aviso para entrega posterior)

## **CAPITULO 4 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES**

Los sistemas de comunicaciones móviles se han convertido en uno de los motores de la sociedad de la información. En todo el mundo, el sistema GSM gana cada día más clientes. Parece que su sustituto está muy lejano. Sin embargo el sistema GSM debe competir con los nuevos estándares (IS-95, PHS) que aparecen en EE.UU. y Japón, los cuales van a desarrollar las comunicaciones personales fuera de Europa. Además el sistema GSM debe interoperar y competir con los nuevos sistemas por satélite que pueden ser implantados en el futuro próximo (Iridium, Globalstar, ICO, etc.). Pero es, sobre todo, la necesidad de disponer de un sistema capaz de afrontar las aplicaciones de multimedia, abierto a las innovaciones tecnológicas y con vocación global, capaz de dar servicio al 80% de los países Europeos para el 2020 lo que ha impulsado el desarrollo del UMTS [8, 9].

Sin embargo, no está totalmente definido cómo va a ser este nuevo sistema. Puede ocurrir que no se trate de un sistema totalmente nuevo, sino una evolución de los sistemas existentes (GSM, DECT, etc.), quizás con nuevas posibilidades para multimedia. También puede suceder que el futuro sea un conjunto de nuevos sistemas con receptores capaces de recibir señales de todos ellos.

En este capítulo se repasan algunos aspectos de la creación del sistema UMTS, se señalan algunas de las actividades que están prefijando su creación y se indican cuales pueden ser las líneas maestras que guíen su evolución.

### **4.1 Sistemas móviles actuales**

#### **Sistemas analógicos**

Los primeros sistemas que alcanzan un desarrollo comercial significativo aparecen en los años 80: en Europa principalmente el sistema NMT-450 (posteriormente mejorado en su

versión NMT-900) y en EE.UU el sistema AMPS (American mobile phone system), adaptado posteriormente en Europa como sistema TACS (Total Access Communication System). Estos sistemas empiezan ofreciendo un servicio que tiene desde el punto de vista del usuario, las siguientes características:

- Área de cobertura extensa (cercana a la superficie total del país). Posibilidad de realizar y recibir llamadas en cualquier punto del área de cobertura del sistema. Todo ello posible, gracias al desarrollo del “concepto celular”.
- Continuidad de la comunicación, al pasar del radio de acción de una estación base al de la estación contigua.

Sin embargo, estos sistemas solo alcanzan penetraciones limitadas debido a los costes que implicaban. Por otro lado, además de las dificultades de orden técnico, pueden citarse:

- Existencia de varios estándares y, por tanto, de series de fabricación limitadas.
- Baja capacidad o eficiencia radioeléctrica de los sistemas, lo cual trae consigo un gran consumo de frecuencias.
- Sistemas analógicos que implican una tecnología voluminosa y de difícil mantenimiento.
- Sistemas no normalizados, es decir, dependientes de un único fabricante.

### **Sistemas digitales**

A partir de 1982, en el seno de la conférence Européen des Administrations des Postes des Télécommunications (CEPT), se vio la necesidad de comenzar las tareas de definición de un nuevo sistema de comunicaciones móviles (posteriormente conocido como GSM) que sustituyera a los sistemas analógicos. Las principales razones para tomar esta decisión fueron: conseguir que en la década de los 90 se pudiera utilizar un sistema normalizado en todos los países europeos (posibilitando el roaming) y buscar una reducción de los precios (al contar con un mercado más amplio y competitivo).

El resultado de estos trabajos fue el sistema Global System for Mobile Communication (GSM), que es un sistema digital con muy buenas prestaciones orientado a la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI). En su confección participaron los mejores expertos europeos, que lograron unas especificaciones muy avanzadas.

El sistema GSM se planteo como un sistema multioperador. El estándar fue diseñado con la posibilidad de que varios operadores pudieran compartir el espectro. Así, la señalización y las interfaces permiten que el abonado pueda elegir la red a la que desea conectarse. La mayor parte de las administraciones permiten dos o más operadores en su territorio.

Desde el punto de vista técnico se ha logrado que el GSM:

- Sea un estándar europeo, que prácticamente se ha convertido en un estándar mundial “de facto”. Fuera de Europa se aplica en muchos países, incluyendo (en su versión 1900 MHz) a los EE.UU.
- Tenga una mayor eficiencia, gracias a un requisito de relación portadora interferencia de solo 9 dB, frente a los aproximadamente 18 dB, que requieren los analógicos. De esta forma se puede triplicar o cuatriplicar la eficiencia en el uso de espectro radioeléctrico y minimizar el número de estaciones base por abonado.
- Sea un sistema digital, los costes de las estaciones base y centrales de conmutación son sensiblemente inferiores a las del sistema analógico.
- Sea un sistema basado en Time Division Multiple Access (TDMA), lo que permite compartir un único transceptor de la estación base para varias llamadas, menor coste, y facilitar un sofisticado control de la estación de radio.
- En la norma que lo define, se especifiquen una serie de interfaces internas al sistema que permitan a los operadores seleccionar los fabricantes que ofrezcan mejores soluciones parciales, sin tener que apostar por un único suministrador.

El rápido crecimiento de los sistemas celulares, así como razones socioeconómicas (fomentar la competencia) junto con el problema de la falta de frecuencia en 900 MHz,

impulsó una adaptación del sistema GSM a la banda de los 1800 MHz (1900 en EE.UU), cuya denominación es DCS o GSM-1800.

### **Otros sistemas para otros mercados**

Algunos fabricantes comenzaron a detectar la necesidad de disponer de nuevos sistemas, dirigidos en ocasiones a mercados más específicos. El más importante (a nivel europeo) es el sistema DECT dirigido, al menos inicialmente, hacia aplicaciones de oficina, sobre todo para centralitas sin hilos. Este sistema ha encontrado algunos competidores como el CT2, el PHS y el PACS que se comentaran posteriormente.

Una de las características más interesantes del DECT es que su planificación resulta muy simple, debido al uso de técnicas de asignación dinámica de canales que no requieren una planificación de frecuencias detallada. La concepción inicial del DECT se fue extendiendo y ya se utiliza en redes LAN sin hilos. Algunos operadores ven en este sistema una plataforma para la implantación de bucles de abonado radioeléctrico con prestaciones RDSI.

### **Estándares en EE.UU**

Como continuación a la expansión del sistema AMPS, la administración norteamericana impulsó el desarrollo de nuevos sistemas que permitieran, por un lado, superar sus limitaciones tecnológicas y, por otro, aumentar la competencia entre operadores.

La mejora de la capacidad y la digitalización de AMPS se logra con el IS-54 que consiste, básicamente, en un sistema AMPS mejorado en el que cada canal analógico de 30 KHz se modula en DQPSK a una velocidad de 48.6 Kbit/s y que se divide siguiendo un esquema TDMA, en 3 slots que soportan 3 usuarios de voz digital.

Una variante del IS-54 es el IS-136 que mejora la señalización y ofrece nuevos servicios como mensajería, grupo cerrado de usuarios, estructuras jerárquicas de red, etc. El IS-54 conocido a veces como D-AMPS, ofrece también la posibilidad de su integración con el sistema analógico, de tal manera que una misma red puede compartir la infraestructura, y mediante el uso de un único canal de control y terminales duales, optimizar la capacidad.

Una visión más revolucionaria para la mejora de AMPS fue la propuesta de Qualcomm de un nuevo sistema basado en técnicas de espectro extendido (CDMA). Esta propuesta que luego fue estandarizada por IS-95, es el primer sistema CDMA móvil en desarrollo comercialmente.

Su propuesta supuso la aparición de la primera competencia avanzada al GSM. El estándar IS-95, al utilizar CDMA, permite incorporar una serie de mejoras en capacidad y facilidad de planificación. Además, Qualcomm realizó una política de promoción muy agresiva en la que se anunciaban eficiencias espectrales dos y tres veces superiores a GSM. De una manera más sutil el IS-95 era menos dañino en cuanto a la compatibilidad electromagnética al generar una señal de envolvente constante y, por tanto, menos susceptible de interferir a los aparatos electrónicos de uso general.

Ello dio lugar a una guerra tecnológica en la que sus detractores pusieron de manifiesto los problemas de dependencia de un solo suministrador y las dificultades reales para obtener las ventajas manifestadas, dada la inmadurez de dicha tecnología. De cualquier manera, IS-95 ha sido adoptado por algunos de los operadores más importantes de EE.UU.

En telefonía sin hilos EE.UU propuso el sistema PACS. Gran parte de la complejidad de la situación actual en los EE.UU se debe a la política de liberación seguida por la administración norteamericana que ha asignado 140 MHz en la banda de 2 GHz a los denominados Personal Communication System (PCS).

## **La situación en Japón**

Japón ha desarrollado también un estándar digital de segunda generación para sistemas móviles, denominado PDC, que en algunos aspectos es similar a los estándares norteamericanos IS-54 y IS-136. Por otra parte, para aplicaciones de oficina y de área urbana utilizan también un nuevo estándar, denominado Personal Handyphone System (PHS), que resulta similar al DECT, si bien con un menor ancho de banda, lo que facilita su implementación en zonas en las que existen problemas de propagación.

### **4.2 La tendencia evolutiva**

Como se ha indicado, la tendencia hacia sistemas con mayor capacidad y mejores prestaciones parece acelerarse cada vez más, con un crecimiento de los usuarios que supera lo previsto [10, 13].

A corto plazo, las soluciones basadas en las tecnologías existentes (GSM en Europa) van a tener una evolución significativa. El objetivo es lograr un sistema de mayor capacidad y apto para prestar nuevos servicios.

### **Evolución del sistema GSM**

#### **Entre los pasos para el desarrollo de este sistema pueden destacarse:**

- Aumento de la capacidad. Esto puede lograrse mediante la introducción del sistema GSM-1800 o por medio de la utilización de células cada vez más pequeñas (evidentemente, a costa de un incremento en los costes de explotación).
- El diseño de una interfaz para radio capaz de soportar la posibilidad de utilizar una codificación binaria a velocidad media, para lograr mayor capacidad y reducción de costes significativos.
- Mejora del sistema de señalización en la parte de aplicación móvil número 7 (MAP) que permita introducir nuevos servicios en los HLR y MSC. Esto se hace por medio

de la definición de elementos claramente diferenciados que permiten, por ejemplo, introducir nuevas funcionalidades en la parte de red sin modificar la parte de radio.

- Nuevos servicios de llamadas a grupo que convertirán al GSM en una alternativa a los sistemas de grupos cerrado.
- La definición completa del General Packet Radio Service (GPRS) que permitirá la introducción de un sistema de paquetes no orientado a conexión. Este aspecto es uno de los más complejos, ya que afecta el diseño de elementos esenciales del sistema GSM, tanto en la parte de radio como en la de red. Asimismo, está en estudio la definición del servicio de datos de alta velocidad.
- Para mejorar la capacidad de transporte de servicios multimedia, se ha definido también la utilización de varios intervalos de la trama TDMA, simultáneamente para cada usuario. Así, sin modificaciones de importancia en la parte de red, será posible cursar tráfico de hasta 8x9.6 Kbit/seg.
- Para la introducción de nuevos servicios GSM y el soporte de los denominados Support of Operator Specific Services (SOSS) es esencial asegurar la conexión de la red GSM con la red inteligente (RI). Esta actividad se está realizando por medio de la definición del servicio Customized Applications for Mobile Enhanced Logic (CAMEL). El objetivo es lograr que cuando un abonado se encuentre en una red no propia (roaming) pueda gozar de los servicios suplementarios (no estándar de GSM) definidos en su red propia y especificados en su HLR (o en otro SCP de la red inteligente de origen). Esto lleva consigo la necesidad de que el control de la llamada y la provisión del servicio se realice, en gran parte, desde la red de origen. La implementación de este tipo de conceptos implica que los operadores deben permitir a los otros operadores, o suministradores de servicio, el acceso a sus redes incluyendo la señalización.
- Otras mejoras importantes, que está previsto se realicen en GSM, conciernen al SMS (servicio de mensajes cortos). La idea es lograr que el SMS deje de ser un simple servicio de paging al usuario para convertirse en un sistema de comunicación entre la red y la tarjeta SIM. Esto abre un conjunto de posibilidades de introducción a nuevos servicios, ya que permiten comunicar, de forma bidireccional y en cualquier

momento, a la red origen y al terminal, sin el concurso del usuario. De esta forma, la tarjeta SIM puede convertirse en un elemento más de inteligencia de la red.

### **Evolución del sistema DECT**

Otro camino hacia el futuro puede ser el desarrollo de un sistema DECT con mejor soporte de la movilidad e integrado en el GSM por medio de terminales duales.

Una de las limitaciones importantes del DECT es que no está previsto el roaming entre distintas redes. Para lograrlo ETSI está actualmente desarrollando el Cordless Telephone Mobile (CTM), que es un conjunto de protocolos basados en CS2 de la red inteligente, lo cual permitirá soportar esta itinerancia. Un sistema dual DECT/GSM, con CTM incorporado, permitirá que se disponga tanto de las aplicaciones de multimedia, que se van a diseñar para DECT en aquellos lugares donde estén disponibles, como de las ventajas de accesibilidad de GSM.

### **El satélite**

Impulsados sobre todo por las posibilidades de reutilización de tecnologías militares, se han propuesto algunos proyectos que acercan cada vez más el satélite al gran público. Entre las grandes novedades están la utilización de orbitas muy bajas que permiten reducir la potencia de emisión y retardo que implica una orbita geoestacionaria. Entre las soluciones previstas se destacan:

- El proyecto Iridium: propuesto por Motorola en 1990, fue el primero de los proyectos que pretenden utilizar satélites en gran escala. El sistema constaba inicialmente con 77 satélites (de ahí Iridium que es el elemento de número atómico 77) que en orbitas bajas (765 Km), cubrirían toda la tierra. Posteriormente, se redujo el número de satélites a 66. Iridium utiliza TDMA y una señalización similar a GSM. El empleo de enlaces entre satélites disminuye el retardo entre las comunicaciones. Los servicios serán de voz (a 4800 bit/s), datos y localización.

- El sistema ICO: propuesto inicialmente por INMARSAT y que constaría de 10 satélites a 10.335 Km de altura. La propuesta de ICO es más modesta que la de Motorola, pero cuenta con buenos apoyos internacionales y es de menor coste. Como característica puede destacarse la similitud con el sistema GSM del que toma muchos de sus protocolos de red. ICO incorpora además, un sistema de mensajería que debe funcionar incluso en el interior de edificios.
- Globalstar: es un intermedio a las dos propuestas anteriores. Se proponen 48 satélites y se pone énfasis en las comunicaciones con áreas rurales y como solución, para incorporar las mismas a la sociedad de la información, se utiliza la técnica de acceso CDMA y se propone el uso de sistemas duales (AMPS/Globalstar-GSM/Globalstar) con conmutación automática.

Mención aparte merece la propuesta de Teledesic (Bill Gates) con 288 satélites (que costarían 9 mil millones de dólares). Este gigantesco proyecto ha levantado todo tipo de especulaciones. El objetivo sería llevar las comunicaciones de banda ancha a todos los puntos del globo.

### **4.3 Integración de las tecnologías**

#### **El sistema unificador**

A raíz de la culminación del sistema GSM comenzaron a surgir, a principios de 1990, las primeras propuestas para diseñar un nuevo sistema. En principio, el objetivo era aprovechar el ímpetu ganado por el grupo de desarrollo de GSM e incluso los contactos internos. Sin embargo, pronto surgieron las voces discrepantes. Cabe pensar, ante la profusión de nuevos estándares, cuáles pueden ser las necesidades de uno nuevo. La primera idea fue que el nuevo estándar sería el “unificador” de todos los estándares actuales: el Universal Mobile Telecommunication System (UMTS).

Sin embargo, esta unificación no es aceptada de forma general, y ni siquiera está claro que pueda llegar a conseguirse, debido a la constante aparición de nuevos tipos de mercados y a los distintos intereses puestos en juego. En este sentido, la posibilidad de diferenciación entre los servicios ofrecidos por distintos operadores es un aspecto de gran importancia y está claro que el nuevo sistema debe permitir la acción del mercado, sin llegar a estandarizar todo lo imaginable.

### **El camino hacia el UMTS**

Según se ha visto, es necesario un sistema de mayor capacidad para el soporte de la información multimedia. Esto se logra mediante la mejora de los sistemas actuales y la introducción de los sistemas duales.

De forma paralela, la especificación de un nuevo sistema, el UMTS, toma de forma progresiva el control de la situación [15]. Éste es compatible, desde el punto de vista de red, con las redes anteriores. De esta forma, la introducción del UMTS es un cambio revolucionario en la parte de radio (pero coexistiendo con el GSM) y un cambio gradual en la señalización. A corto plazo, sin embargo, el UMTS es el sistema que se encargara de proporcionar los nuevos servicios multimedia, con extensión limitada y utilizando el GSM como elemento unificador.

Se han identificado dos caminos que permitirán evolucionar hacia el sistema UMTS: el primero de ellos es partiendo del sistema GSM y el segundo de la red inteligente, complementada con el sistema DECT. Recientemente el ETSI ha decidido dividir la especificación de la parte de red del sistema UMTS en dos: la primera se llevaría a cabo en el mismo grupo de especificaciones del GSM y la segunda en los grupos de especificación de redes fijas. La interfaz de radio a utilizar seria común y su definición se realizaría también por el grupo GSM.

Lo importante es que los pasos intermedios y la forma específica de realizarlos dependerán de las condiciones del mercado. El estándar UMTS será una herramienta más para facilitar la evolución.

De hecho en el nuevo universo de multimedia los usuarios utilizarán una gran variedad de redes de acceso: públicas, privadas, fijas y móviles, que podrán conectarse a diferentes redes de transporte. La posibilidad de utilizar en paralelo diferentes redes de acceso origina que los servicios con alta velocidad de transmisión puedan ser introducidos de forma gradual y de acuerdo con las necesidades del mercado.

#### **4.4 Tecnologías**

El desarrollo del nuevo sistema (UMTS) se extiende, cada vez más, no solo como el desarrollo de una nueva interfaz de radioeléctrica para los sistemas multimedia, sino también, como un marco evolutivo. Esto origina que se produzca la evolución de las diferentes tecnologías.

##### **Acceso radioeléctrico**

Aunque la situación no está por el momento totalmente clara y es posible que no lo esté a corto plazo, parece que las nuevas técnicas de acceso vía radio estarán basadas en técnicas de acceso híbridas CDMA/TDMA e incorporarán receptores avanzados (utilizando detección conjunta y cancelación de interferencias).

CDMA se basa en la expansión del espectro de la señal a transmitir por medio de secuencias ortogonales, de esta forma, el receptor solo puede demodular la señal si conoce la secuencia que se ha utilizado en su expansión, siendo los otros transmisores los que utilicen la misma banda, básicamente ruido. La expansión del espectro tiene varias ventajas en las comunicaciones móviles:

- En primer lugar, al ocupar más espectro, la señal no puede atenuarse totalmente en un canal disperso. Existe un receptor (receptor RAKE) que permite demodular las señales de banda estrecha cuyo espectro ha sido expandido y obtener de esta forma una diversidad de recepción.
- Además, este mismo receptor permite que el sistema pueda estar conectado simultáneamente a dos (o más) estaciones base, realizando trasposos de forma imperceptible para el usuario (soft handover).
- Otra ventaja del CDMA, especialmente en el caso de que se transmita voz, es que se consigue aprovechar, de forma natural, el carácter discontinuo de la voz. Esto permite mejoras en la capacidad en el orden de un 50-60%.
- A más largo plazo se podrán desarrollar receptores basados en cancelación de interferencias o de detección conjunta. Los receptores con cancelación de interferencia van suprimiendo, progresivamente, a todos los usuarios no deseados, obteniendo una elevada relación señal a ruido en la señal deseada.

### **Transmisión**

La integración con las redes ATM, que serán el núcleo de transporte de las redes futuras, va a ser un elemento muy importante en el desarrollo de los nuevos sistemas.

### **Terminales**

En principio, los terminales con soporte del modo dual serán de gran interés. Un objetivo muy interesante será lograr terminales que puedan adaptarse por medio de la propia interfaz aire, a través de cargas de nuevos software [12, 14]. La explosión en estándares solo podrá ser resuelta con este tipo de terminales.

## **Creación de servicios**

Esto implica, en una primera etapa, la integración con la red inteligente. En fases posteriores los conceptos de Telecommunications Information Network Architecture (TINA) son candidatos para proporcionar una tecnología de sustitución a la red inteligente.

## **Manejo de movilidad**

Éste es uno de los factores más interesantes y a los que se está dedicando más esfuerzos en los proyectos que definen el UMTS.

El objetivo es doble: por un lado, se trata de conseguir que la movilidad y su manejo se realice por medio de elementos de la red normalizados (la movilidad no es sino un servicio más de la red), por otro lado, hay que lograr que las nuevas centrales destinadas a las comunicaciones móviles sean similares a las centrales existentes (o al menos basadas en éstas).

Esto puede conseguirse por medio de la utilización de los conceptos de red inteligente y su generalización. Para ello, es preciso analizar como pueden estructurarse las funciones de movilidad para que puedan ser realizadas por medio de unos Service Independent Building Blocks (SIBB), que son los elementos constitutivos de la RI. Esta tarea, si bien posible, presenta algunas dificultades e ineficiencias. Por tal motivo, se están desarrollando algunas estructuras híbridas en las que algunas de las funciones de movilidad se desarrollarían por medio de la RI mientras que otras, las más frecuentes y básicas, se llevarían a cabo por medio de arquitecturas más descentralizadas y eficientes.

La tendencia actual en este tipo de sistemas, que presentan muchas analogías con las redes de ordenadores es evolucionar hacia sistemas tipo Open Distributed Proceses (ODP) con utilización de bases de datos distribuidas.

## **4.5 Valoración y perspectiva de la red celular colombiana**

### **Evolución histórica**

Tokio fue la primera ciudad en comenzar a utilizar la red de Telefonía Móvil Celular (TMC) hacia principio de diciembre del año 1979, se buscaba con ello una nueva alternativa para que los usuarios de la telefonía tradicional pudieran comunicarse de forma más eficiente y de esta forma no interferir en la productividad del trabajo.

Las ventajas que se buscaban con esta telefonía eran:

- La rapidez.
- La facilidad para comunicarse en cualquier momento.
- El libre desplazamiento de los usuarios.

En nuestro país, el uso de la Telefonía Móvil comenzó en el año 1994 por medio de licitaciones revolucionando el sector de las telecomunicaciones. Esto llevo a realizar alianzas entre empresas que tenían experiencia en la prestación del servicio móvil y agrupaciones financieras con capacidad para realizar dicha inversión.

Se necesitaba garantizar una buena calidad en la prestación del servicio, por ello la importancia de una competencia entre diferentes operadores, de ahí que el gobierno dividió el país en tres regiones:

- Oriental.
- Occidental.
- Costa Atlántica.

También estableció una red para empresas mixtas (Red A) y otra para empresas privadas (Red B), donde se buscaba que como mínimo en cada región existieran dos operadores.

De acuerdo a las cifras dadas a conocer por los diferentes operadores en Marzo de 1999 se contaba con un total de 1.817.199 usuarios en todo el país, lo cual de acuerdo a la información dada por el DANE donde la población nacional para 1999 era de 41'539.011 habitantes, y si calculamos la penetración telefónica por habitantes, obtenemos que en ese momento el 4.3 % de la población colombiana ya estaba utilizando un celular. Esto constituía una cifra muy representativa indicando un buen comienzo para los diferentes operadores, ya que se cubrían las necesidades que la telefonía convencional no estaba supliendo.

La prestación del servicio de Telefonía Móvil Celular (TMC) en Colombia, se aprobó por el Congreso de la República mediante la ley 37 de enero de 1993. La cual le daba facultades al Ministerio de Comunicaciones para adjudicar la concesión de la prestación del servicio de TMC, previo a los trámites de licitación pública.

El Decreto 741 del 20 de abril de 1993 en su artículo 50 define la división del país en tres zonas así:

- Zona Atlántica
- Zona Oriental
- Zona Occidental

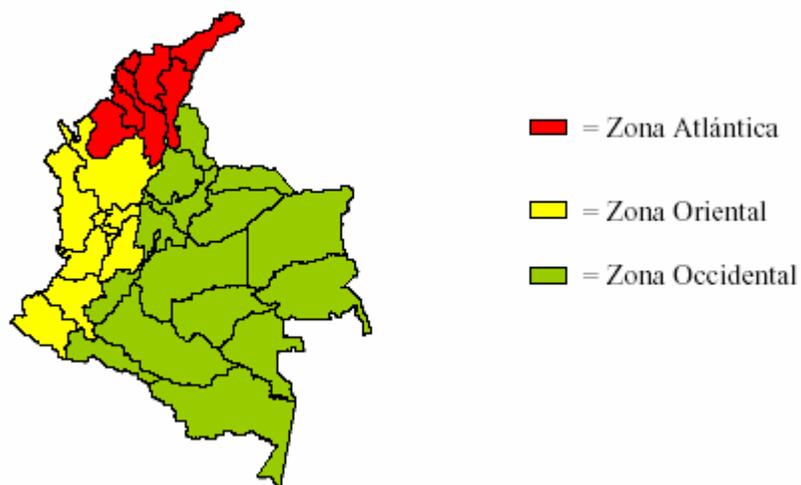


Figura 4.1 Zonas del país para el servicio móvil

### **Zona Oriental**

- Antioquia (solo Yondó), Boyaca, Caqueta, Cundinamarca, Santafe de Bogotá, Huila, Meta, Santander, Casanare, Putumayo, San Andrés y Providencia, Amazonas, Guainia, Guaviare, Vaupes, Vichada y Arauca.

### **Zona Occidental.**

- Antioquia (Excepto Yondó), Caldas, Quindio, Choco, Risaralda, Cauca, Valle del Cauca, Tolima (solo cinco municipios) y Nariño.

### **Región Costa Atlántica.**

- Guajira, Cesar, Magdalena, Bolivar, Cordoba, Sincelejo y Sucre.

Los operadores de la red privada Red B a quienes se les otorgó la concesión fueron:

- CELUMOVIL S.A., CELUMOVIL COSTA ATLANTICA S.A: Prestan el servicio en las regiones Oriental y Costa Atlántica respectivamente.
- COCELCO S.A: Presta servicio en la región Occidental.

Los operadores de la red mixta Red A a quienes se les otorgó la concesión fueron:

- COMCEL S.A: Presta el servicio en la región Oriental.
- OCCEL S.A: Presta el servicio en la región Occidental.
- CELCARIBE S.A: Presta el servicio en la Costa Atlántica.

La tecnología AMPS (Advanced Mobile Phone Service) fue la que inicialmente se utilizó en el país, debido a que era el estándar analógico para todo el continente americano (Menos Canadá), este sistema avanzó producto a la digitalización y se convirtió en el sistema DAMPS. En la actualidad los operadores han adoptado la tecnología TDMA (Time Division Multiple Access).

Los sistemas digitales de telefonía móvil se pueden agrupar en cuatro categorías principales:

- Sistema Americano: TDMA (Time Division Multiple Access).
- Sistema Americano: CDMA (Code Division Multiple Access).
- Sistema Europeo: GSM (Global System for Mobile communications).
- Sistema Japonés: Personal Digital Cellular, también TDMA.

Según estadísticas de la firma “Informa Telecoms & Media” que maneja datos de telecomunicaciones a nivel mundial, en el primer trimestre del año la cifra llegó a 11,3 millones de usuarios, de los cuales Comcel tiene ahora 6,2 millones de usuarios, Telefónica Móviles (que hasta hoy operaba la marca BellSouth) tiene 3,6 millones y Ola tiene 1,4 millones.

El 48 por ciento de los usuarios móviles en el país cuentan con la tecnología GSM, el 43 por ciento con TDMA entre Comcel y Telefónica y el 9 por ciento con CDMA, usada en su totalidad por Telefónica. La tecnología GSM es hoy utilizada por Comcel y Colombia Móvil. Con la ampliación de los 15 MHz del espectro radioeléctrico recién otorgados por el Ministerio de Comunicaciones a Telefónica Móviles, se instalarán nuevas redes con tecnología GSM para atender a sus nuevos usuarios.

Las tres tecnologías móviles que se usan en Colombia, TDMA, CDMA y GSM, comenzaron a utilizarse como segunda generación. Cuando los móviles evolucionaron y comenzaron a transportar no solo voz sino datos, TDMA no avanzó y los fabricantes decidieron que no había un mercado lo suficientemente grande para desarrollar la tercera generación. De esta manera las empresas móviles tuvieron que migrar hacia alguna de las otras dos tecnologías, expandiéndose la tecnología GSM por Europa y la CDMA en Norteamérica. Hoy Telefónica Móviles mantiene la tecnología inicial TDMA, CDMA quedó adoptada por BellSouth por ser una compañía norteamericana, y ahora con la implementación de GSM quedan las tres redes instaladas.

## **Perspectiva de red en la zona atlántica**

A los múltiples operadores cuya tecnología era analógica e implementaban sistemas AMPS IS-54, no les ha quedado otra alternativa que ir introduciendo poco a poco el sistema DAMPS IS-136, ahora con teléfonos duales que pueden enlazarse tanto de forma analógica como digital en dependencia del sector atendido por la estación base. Los sectores analógicos cada vez son más escasos con una clara tendencia a desaparecer.

Gran cantidad de turistas y hombres de negocio que arriban a nuestro país procedentes de Europa donde prácticamente se puede decir que impera el sistema GSM. Esto ha provocado que la necesidad de expandir en nuestro país el sistema GSM sea cada vez mayor.

El sistema GSM ha definido la arquitectura de PLMN con una separación clara de las funciones de MSC, HLR, VLR, AuC y EIR. Sin embargo, esto no significa necesariamente que la configuración física de una PLMN tenga que estar estrictamente asociada a una configuración funcional determinada. Para la planificación y dimensionamiento de este tipo de red se deben considerar varios factores:

- Distribución geográfica y valores de tráfico.
- Estructura e interfuncionamiento con otras redes de telecomunicaciones.
- Aspectos estáticos y dinámicos de los componentes de red.
- Disponibilidad.
- Costo de línea contra costo de operación y mantenimiento para arquitecturas de red centralizadas y descentralizadas.

En la práctica los operadores de red, después de evaluar estos factores llevan a cabo el diseño de la red con una de las variantes siguientes:

- Centralizada, con todas las funciones SCP centralizadas en una o pocas SCPs para toda la red.
- Descentralizada, con las funciones SCP integradas con las funciones SSP en los centros de conmutación.

Para ganar en claridad podemos valorar un ejemplo hipotético correspondiente a una PLMN con 3 millones de usuarios, el cual puede dar una idea de configuración razonable para un subsistema de conmutación:

- Alrededor de 100 MSC/VLR, de ellas 10 sirviendo como pasarelas (Gateway a la red fija).
- Alrededor de 10 HLRs/AuC.
- Funciones EIR combinadas con HLR/AuC o un pequeño número de EIRs separados.

En este ejemplo la combinación de MSC/VLR toma en cuenta la alta razón de transacción dinámica entre el MSC y el VLR, mientras que la combinación HLR-AuC refleja la correlación funcional que existe entre ellos.

La red SS7 se considera de forma separada. Si la red SS7 de la PLMN está separada de la red SS7 correspondiente a la PSTN/ISDN podría resultar ventajoso utilizar la función STP integrada en los componentes de la PLMN.

En general, la alta razón de transacción para aplicaciones móviles en el par SSP-SCP tiene que ser considerada como un estimado grueso, la razón de transacción de PLMN-SCP para HLR, VLR, AuC y EIR por suscriptor es 50 veces mayor que la razón de transacción por suscriptor a un freephone SCP. La potencia de procesamiento requerida por el MSC puede ser hasta 10 veces mayor que el estándar de centrales PSTN/ISDN.

Atendiendo a los criterios antes expuestos se puede realizar un análisis de las características fundamentales que inciden en la definición de una propuesta de diseño de arquitectura funcional de sistema aplicable a la red colombiana, para el caso específico de la zona atlántica empleando el sistema GSM.

Centraremos nuestra atención en el sector correspondiente a la Guajira, por presentar una estructura que permitirá ilustrar el modelo de diseño de red que sea extensible al resto de la zona atlántica.. Afortunadamente ya tenemos el precedente en esta localidad del empleo de

varios sistemas de telefonía móvil celular de los cuales obtendremos información útil para nuestro análisis. Aquí solo pretendemos hacer una valoración desde el punto de vista funcional del sistema, sin enfatizar en el dimensionamiento del mismo.

De acuerdo a la demanda de tráfico, podemos decir que esta se encuentra dividida en tres áreas de cobertura como se muestra en la figura 4.1:

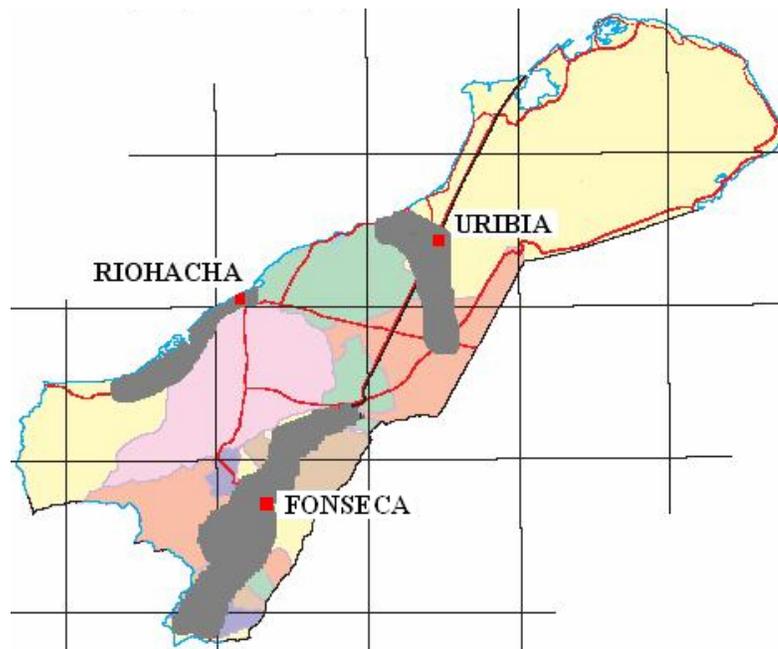


Figura 4.2 Áreas de cobertura

Zona a: Iribia, Manaure y Maicao.

Zona b: Riohacha y Dibulla.

Zona c: Fonseca, La Jagua, Brumita, El molino, Distracción, Barrancas y Albania.

Como puede apreciarse cualitativamente el tráfico para telefonía celular se encuentra parcialmente distribuido a lo largo de todo el departamento, más concentrado en la zona c). Actualmente la red PSTN/ISDN tiene implementada la red SS7, de cualquier manera la consideraremos separada de la red SS7 correspondiente a la PLMN.

Según la estructura de red inteligente se proponen dos alternativas posibles para el diseño de dicha red.

La primera alternativa propuesta se caracteriza por ser centralizada, con todas las funciones SCP centralizadas en un único SSP. En este caso solo tendríamos un problema: dónde ubicar el nodo GMSC-HLR/AuC-VLR-EIR. Aquí se proponen dos posibilidades:

- Ubicarlo en el centro del departamento (Uribe), disminuyendo así la distancia promedio de los enlaces, así como la demora de propagación de los mensajes enviados (teniendo en cuenta la posible expansión de sistemas en el departamento).
- Ubicarlo en el centro de la zona de más alta densidad de tráfico (Fonseca). Esta variante podría ser la más adecuada teniendo en cuenta que el mayor volumen de tráfico se encuentre concentrado hacia la zona c) del departamento y además es donde se prevé un incremento considerable de la demanda.

La propuesta de arquitectura de red se muestra en la figura 4.2:

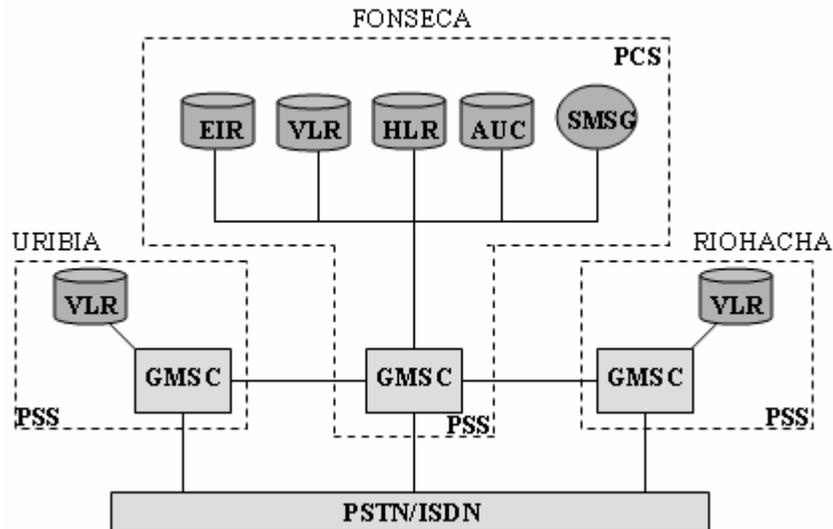


Figura 4.2 Propuesta de arquitectura de red #1

Esta distribución podría ser óptima y económica si se tiene en cuenta el bajo volumen de tráfico y la baja probabilidad de crecimiento en proporciones tan grandes que puedan necesitar una modificación de la arquitectura de red.

La segunda alternativa, mostrada en la figura 4.3, es muy similar a la existente actualmente, se propone una arquitectura descentralizada con las funciones SCP integradas a los SSP en los centros de conmutación.

En esta variante la razón de transacción dinámica SSP-SCP tiende a ser distribuida, por lo que se requerirá una capacidad menor para los enlaces de señalización HLR/AuC-MSC/VLR. Los tres MSC servirán como pasarela a la red fija.

Esta variante aunque tal vez un poco más cara, garantiza una estructura de red prácticamente inalterable, independientemente del crecimiento y evolución que pueda experimentar la red.

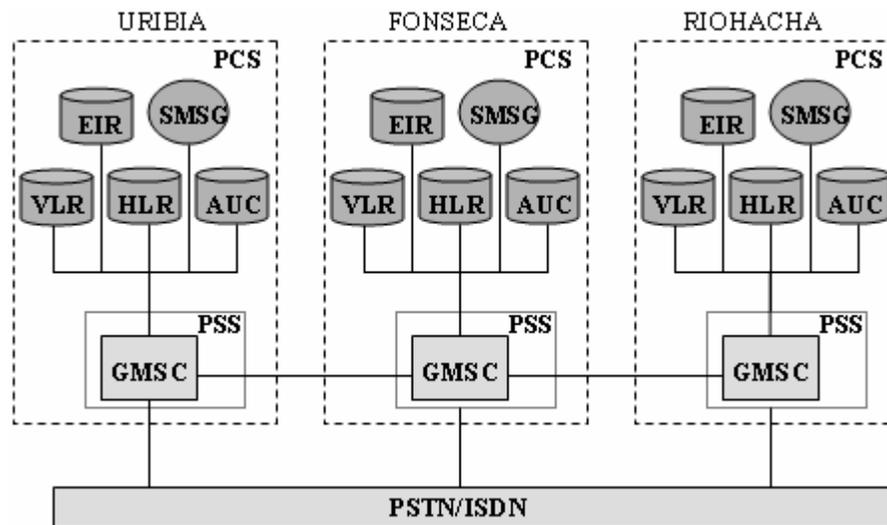


Figura 4.3 Propuesta de arquitectura de red #2

#### 4.6 Resumen

En este capítulo se han identificado las claves que están permitiendo el desarrollo de los sistemas de telecomunicaciones móviles, desde sus orígenes en los sistemas analógicos,

pasando por la denominada segunda generación, el GSM que está estableciendo las bases de la nueva sociedad de la información hasta las tendencias futuras, bajo las perspectivas de la integración.

Se han identificado las causas que han permitido el rápido desarrollo del GSM. Estas causas son, tanto económicas: una mayor competencia, como técnicas: un estándar mucho más avanzado y modular.

Sin embargo, hay un constante flujo en el desarrollo de nuevos estándares que ponen de manifiesto la existencia de una serie de servicios, para los que existe demanda potencial y que no se cubren fácilmente con GSM. La evolución de las RDSI de banda ancha, de las Universal Personal Telecommunication (UPT) y, sobre todo, el desarrollo de los servicios multimedia, va a ser necesario contar con sistemas radioeléctricos integrados capaces de soportar todo ello.

En estados unidos el desarrollo de los PCS, con un conjunto muy variado de estándares, va a ser, además, un factor que dinamizará la aparición de soluciones muy innovadoras.

En definitiva, está claro que va a existir una evolución hacia un sistema que:

- Tenga más eficiencia espectral.
- Esté mejor integrado con la red fija.
- Integre los sistemas terrenales con los sistemas basados en satélites.
- Pueda soportar servicios multimedia.
- El terminal y la suscripción deben ser económicos y fáciles de utilizar, de forma que el sistema sea un objeto cotidiano.

Por otra parte, el desarrollo de este nuevo sistema va a ser evolutivo. Los cambios más importantes se producirán mediante el desarrollo de una interfaz radioeléctrica más flexible que la actual de GSM. Por otro lado, la estructura de señalización seguirá un camino más lento, con la incorporación paulatina de las soluciones de red inteligente.

A medio y largo plazo, el UMTS sustituirá progresivamente a las soluciones actuales. La sustitución se realizara de acuerdo con las necesidades de los mercados y la presencia de nuevas aplicaciones que lo justifiquen.

## CONCLUSIONES

El objetivo propuesto en el presente trabajo se desarrolló plenamente arrojando los siguientes resultados:

- El estudio realizado al sistema GSM, ha permitido caracterizar de forma clara cada una de las componentes funcionales del mismo. Se puede observar un grado de concreción y madurez elevado en la definición de sus funciones y ejecución de sus procedimientos, resultados que pueden ser adjudicados a la excelente estrategia de trabajo llevada a cabo por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI), organismo que en 1990 publicó la primera versión de especificaciones del 'Global System for Mobile Communications' GSM, creando un sistema prácticamente nuevo, el cual no tiene que ajustarse a versiones anteriores, dándole un alto grado de independencia y capacidad de evolución.
- El análisis efectuado a los protocolos de señalización empleados por los sistemas GSM, muestra como estos procedimientos de señalización pueden ser asociados a los utilizados en redes fijas, nos referimos a la Red Digital de Servicios Integrados, donde se utiliza el protocolo LAPD con algunas modificaciones (LAPDm) necesarias para la adecuación a este tipo de sistema y otras aplicaciones en el nivel de red. También aparecen nuevas aplicaciones en la interfaz móvil-red soportadas por procedimientos SS7 que hacen uso de la SCCP, así como el empleo de ISUP entre los MSCs y los procedimientos MAP para el acceso a bases de datos haciendo uso de la TCAP.
- Atendiendo a las características presentadas por la red celular colombiana se proponen posibles variantes de arquitectura funcional de red empleando una estructura de Red Inteligente perfectamente aplicable con sistemas GSM.
- Se puede observar la tendencia evolutiva que experimentan los sistemas móviles hacia las UMTS, cuya implementación podría estar dada por la coexistencia y compatibilidad de varios sistemas entre los que se encuentra el GSM como exponente principal. Otra tendencia un poco más futurista con cobertura global que permitirá la movilidad personal en todas las redes radio-móviles y de cable para que los usuarios

puedan comunicarse desde cualquier lugar, de cualquier forma y cuando quieran lo constituyen las Telecomunicaciones Personales Universales (UPT).

## **RECOMENDACIONES**

- Al concluir este trabajo recomendamos el estudio para su diseño e implementación del acceso a Internet por GSM utilizando el sistema GPRS (General Packet Radio Service), pues en estos momentos se desarrollan nuevos protocolos que soportan la movilidad de los host, así como la interconexión a redes de datos con carácter global. Estos temas no han sido tratados en el presente trabajo, por lo que es importante el estudio de los mismos, y más si tenemos en cuenta el auge que ha alcanzado la telefonía sobre IP.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Neurauter, B.; Marzinger, G.; Schwarz, A.; Vuketich, R. "GSM 900/DCS 1800 fractional-N modulator with two-point-modulation" Microwave Symposium Digest, 2002 IEEE MTT-S International Volume 1, Issue , 2002 Page(s):425 – 428.
- [2] Timo Halonen, Javier Romero, Juan Melero, "GSM, GPRS and EDGE Performance – GSM Evolution towards 3G/UMTS", May 13, 2002.
- [3] Harri Holma and Antti Toskala, "WCDMA for UMTS", 3rd edit, John Wiley & Sons, July 2004.
- [4] Robert Love, Amitava Ghosh, Weimin Xiao and Rapeepat Ratasuk, "Performance of 3GPP High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)", Motorola, 2004.
- [5] CIO Focus, "Applied Wireless: Making Wireless Work in Business", 2003.
- [6] Darwin magazine, Notes From The Conference Front, "What CIO's Talk About When They Talk About Wireless", February 24, 2004.
- [7] Nokia Corporation, "The Dawn of Mobile Enterprise", September 8, 2003.
- [8] Ericsson white paper "Enterprise Communications Trends, Needs and Opportunities: Delivering Business Advantage Through Multi-Dimensional Convergence", June 2004.
- [9] Ericsson white paper,"Evolution Towards Converged Services And Networks", April 2005.
- [10] Nokia white paper, "Changing the Business Data Landscape: Phones That Drive Mobile Sector Business Performance", 2004.
- [11] Tim Marshall, "SMS helps drive wireless data in the US"; April 20, 2004.
- [12] In-Stat/MDR, "Psychographics and Demographics of Wireless Data Subscribers", April 2004

- [13] Robert Jaques, VNU Network, "Two-thirds of firms will be wireless by 2007"; October 20, 2004;
- [14] InfoTrends Research Group, "2004 Worldwide Camera Phone and Photo Messaging Forecast", March 2004
- [15] Shosteck Group white paper, "UMTS - When and Why It Will Happen: Timetables and Forecasts", page 35, September 2003.

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

<b>ACM</b>	Address Complete Message (ISUP)
<b>ACTS</b>	Advanced Communication Technologies and Services
<b>AGCH</b>	Access Grant Channel
<b>ANM</b>	Answer Message (ISUP)
<b>AP</b>	Application Part
<b>AuC</b>	Authentication Center
<b>BCCH</b>	Broadcast Control Channel
<b>BSC</b>	Base Station Controller
<b>BSS</b>	Base Station Subsystem
<b>BSSAP</b>	Base Station Subsystem App. Part
<b>BSSMAP</b>	BSS Management App. Part
<b>BTS</b>	Base Transceiver Station
<b>BTSM</b>	BTS Management
<b>CBCH</b>	Cell Broadcast Channel
<b>CC</b>	Call Control
<b>CM</b>	Communication Management
<b>DCS</b>	Digital Cellular System
<b>DCS-1800</b>	GSM en la banda de 1800 MHz
<b>DECT</b>	Digital European Cordless Telecommunication
<b>DISC</b>	DISConnect (LAPD)
<b>DTAP</b>	Direct Transfer Application Part
<b>EDGE</b>	Enhanced Data for GSM Evolution
<b>EFR</b>	Enhanced Full Rate
<b>EIR</b>	Equipment Identification Register
<b>ETSI</b>	European Telecommunication Standard Institute
<b>FACCH</b>	Fast Associated Control Channel
<b>FCCH</b>	Frequency Correction Channel
<b>FPLMTS</b>	Future Public Land Mobile Telecommunication System (ITU, ahora IMT-2000)
<b>GMSC</b>	Gateway MSC
<b>GSM</b>	Global System for Mobiles

<b>GPRS</b>	General packet Radio Service
<b>HLR</b>	Home Location Register
<b>HO</b>	Handover
<b>IAM</b>	Initial Address Massage (ISUP)
<b>IMEI</b>	International Mobile Equipment Identify
<b>IMSI</b>	International Mobile Subscriber Identify
<b>ISDN</b>	Integrated Services Digital Network
<b>IMT-2000</b>	International Mobile Telecomm 2000
<b>IN</b>	Intelligent Network
<b>ISUP</b>	Integrated Services User Part (SS7)
<b>ITU</b>	International Telecomm Union
<b>LAI</b>	Location Area Identity
<b>LAPD</b>	Link Access Procedure D
<b>LR</b>	Location Register
<b>MAP</b>	Mobile Application Part
<b>MBS</b>	Mobile Broadband System
<b>MM</b>	Mobile Management
<b>MS</b>	Mobile Station
<b>MSC</b>	Mobile-Service Switching Center
<b>MSISDN</b>	Mobile Station ISDN Number
<b>MSRN</b>	Mobile Station Roaming Number
<b>MTP</b>	Message Transfer Part (SS7)
<b>NSS</b>	Network and Switching Subsystem
<b>PAGCH</b>	Paging and Access Grant Channel
<b>PCH</b>	Paging Channel
<b>PCS</b>	Personal Communication Service (USA)
<b>PCS-1900</b>	GSM en la banda de 1900 MHz
<b>PDC</b>	Personal Digital Cellular (Japón)
<b>PDS</b>	Packet Data on Signaling Channels
<b>PHS</b>	Personal Handyphone System (Japón)
<b>PIN</b>	Personal Identification Number
<b>PLMN</b>	Public Land Mobile Network
<b>PSTN</b>	Public Switching Telephone Network

<b>RACH</b>	Random Access Channel
<b>REL</b>	Release (ISUP)
<b>RIL3</b>	Radio Interface Layer 3
<b>RLC</b>	Release Complete (ISUP)
<b>RR</b>	Radio Resource Management
<b>RSM</b>	Radio Subsystem Management
<b>SABM</b>	Set Asynchronous Balanced Mode (LAPD)
<b>SACCH</b>	Slow Associated Control Channel
<b>SAPI</b>	Service Access Point Identify (LAPD)
<b>SCCP</b>	Signaling Connection Control Part (SS7)
<b>SCH</b>	Synchronization Channel
<b>SDCCH</b>	Stand-alone Dedicated Control Channel
<b>SIM</b>	Subscriber Identify Module
<b>SM-RP</b>	Short Message Routing Protocol
<b>SM-SC</b>	Short Message Service Center
<b>SM-TP</b>	Short Message Transport Protocol
<b>SMS</b>	Short Message Service
<b>SMSG</b>	Short Message Service Gateway
<b>SS</b>	Supplementary Service
<b>SS7</b>	Signaling Subsystem number 7
<b>TC</b>	Transaction Capability (SS7)
<b>TCAP</b>	Transaction Capability Application Part (SS7)
<b>TCH</b>	Traffic Channel
<b>TCU</b>	TransCoder Unit
<b>TEI</b>	Terminal Equipment Identify
<b>TMSI</b>	Temporary Mobile Subscriber
<b>TRX</b>	Transmitter Receiver
<b>TUP</b>	Telephone User Part (SS7)
<b>UA</b>	Unnumbered Acknowledgment
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunication System (ETSI)
<b>UPT</b>	Universal Personal Telecommunication
<b>VLR</b>	Visitor Location Register
<b>W-CDMA</b>	Wideband CDMA.